

N° d'enregistrement
au C.N.R.S.
A. O. 5408

THÈSE

présentée à la
Faculté des Sciences de l'Université de Paris

pour obtenir

Le Grade de Docteur ès Sciences Naturelles

par

Françoise BEUCHER

SUJET de la THESE : ETUDE PALYNOLOGIQUE DE FORMATIONS NEOGENES
ET QUATERNAIRES AU SAHARA NORD-OCCIDENTAL

Tome I

Soutenue le 9 Mars 1971 devant la commission d'Examen

M J PIVETEAU Président

M. G LUCAS	} Examineurs
Mlle H ALIMEN.....	
Mme. M. VAN CAMPO ..	
M. Ph. GUINET.....	

N° d'enregistrement
au C.N.R.S.
A. O. 5408

THÈSE

présentée à la
Faculté des Sciences de l'Université de Paris

pour obtenir

Le Grade de Docteur ès Sciences Naturelles

par

Françoise BEUCHER

SUJET de la THESE : ETUDE PALYNOLOGIQUE DE FORMATIONS NEOGENES
ET QUATERNAIRES AU SAHARA NORD-OCCIDENTAL

Tome I

Soutenue le 9 Mars 1971 devant la commission d'Examen

M. J. PIVETEAU.....Président

M. G. LUCAS.....	} Examineurs
Mlle. H. ALIMEN.....	
Mme. M. VAN CAMPO...	
M. Ph. GUINET.....	



A Mademoiselle ALIMEN ,

A mes Parents, frères et soeurs,

A chacun de ceux dont les conseils, l'aide ou l'amitié
ont contribué à l'avancement de ces recherches.

AVANT-PROPOS

Exprimer ma gratitude à chacun de ceux qui, à un moment quelconque ou à chaque étape de ces recherches, m'ont donné leur enseignement, leurs conseils, leur aide, leur amitié m'est un agréable et joyeux devoir. En achevant la rédaction de ce mémoire, j'ai conscience qu'il est le résultat de multiples et précieux concours et je voudrais n'oublier aucun de ceux à qui je dois d'être parvenue à son terme.

C'est vers Mlle H. ALIMEN que va spontanément ma profonde reconnaissance et ce sont d'abord les randonnées sahariennes à travers lesquelles elle m'a conduite qui surgissent à ma pensée comme la réalité toujours très vivante d'une passionnante expérience de la découverte du désert. Sûrement même est-ce parce que le désert m'a séduite que j'ai trouvé, dans cette rencontre avec une terre qui dans son dépouillement conduit à l'essentiel, la force de ne pas renoncer à des recherches qui dès leur début se sont révélées ardues et peu prometteuses de résultats positifs certains.

Ayant reçu l'enseignement d'un Certificat de Géologie générale qui ne donnait alors guère de place à la formation des géologues de terrain, j'avais tout à apprendre dès ma première mission à Béni-Abbès, en 1962. Et je reste alors émerveillée de la façon dont Mlle ALIMEN, en un temps très court, a su me faire saisir et m'enseigner, sur le terrain même, la stratigraphie et la chronologie des formations quaternaires de cette région. A cette époque où nous n'avions pas la certitude qu'une mission ultérieure fut possible, il fallait acquérir le maximum d'échantillons dans le plus grand nombre de sites et je remercie Mlle ALIMEN de m'avoir si grandement facilité la tâche en relevant elle-même les coupes dans lesquelles j'échantillonnais, en même temps, les séries de prélèvements destinés à l'analyse pollinique. Au laboratoire ensuite, Mlle ALIMEN a guidé mon travail.

Son souci permanent de l'avancement de mes recherches et de leurs résultats, son inlassable patience et sa capacité d'accueil sans mesure, ses mouvements spontanés de confiance et d'optimisme devant les échecs et les tentations de découragement ont été pour moi un soutien qui ne m'a jamais manqué, pas même au cours de sa récente et longue maladie. Au près de Mlle ALIMEN j'ai découvert, comme chacun de ceux qui m'ont précédée ou me suivent, des qualités exceptionnelles de maître et de chercheur, une frappante perspicacité et une facilité spontanée à rejoindre l'essentiel, un remarquable esprit de synthèse, autant de qualités qui m'ont été un enseignement à la fois scientifique et humain dont je suis profondément heureuse de la remercier. Je lui suis enfin reconnaissante d'avoir accepté la tâche délicate, pour elle qui a dirigé mes recherches, d'être dans mon Jury, le rapporteur de ma thèse.

Mes remerciements vont particulièrement à chacun des membres de mon Jury.

M. J. PIVETEAU, membre de l'Institut, Professeur Honoraire à la Faculté des Sciences, Président du Comité de Direction de notre Laboratoire, m'a honorée de sa présence en acceptant de présider ce Jury. Je lui en suis vivement reconnaissante ainsi que de l'intérêt qu'il a porté au thème de mes recherches.

Je suis heureuse de voir en M. G. LUCAS, Professeur à la Faculté des Sciences, un membre de mon Jury qui soit un "Saharien". M. LUCAS a accepté que je vienne lui parler longuement de mon travail et lui présenter l'orientation générale de ma thèse. Sa connaissance de l'Afrique du Nord a été l'occasion de suggestions et d'encouragements.

Que Madame M. VAN CAMPO, Directeur du Laboratoire de Palynologie du C.N.R.S. à Montpellier, Directeur du Laboratoire de Palynologie de l'Ecole pratique des Hautes Etudes à Paris, veuille bien accepter ici toute ma gratitude ainsi que M. Ph. GUINET, Directeur-Adjoint du Laboratoire de Palynologie de Montpellier. Mme VAN CAMPO m'a largement ouvert les portes de son Laboratoire à Paris. Elle m'a alors donné la possibilité d'emprunter des lames de référence de pollens actuels dans une collection devenue désormais très importante. Un séjour de plusieurs semaines à Montpellier m'a permis de parler avec elle-même de l'orienta-

-tion de ma thèse et de recevoir ses conseils à différents propos, quant à la morphologie des pollens de Pin notamment. Je suis très heureuse de pouvoir compter Mme VAN CAMPO au nombre des membres de mon Jury.

M. GUINET, qui a cartographié les groupements végétaux actuels de la région de Béni-Abbès, a manifesté beaucoup d'intérêt pour les microflores fossiles que j'ai moi-même déterminées et m'a fait le très grand plaisir d'accepter de participer également à mon Jury de thèse. Je ne saurais trop insister sur la disponibilité dont M. GUINET a témoigné à l'égard de mon travail, que ce soit au cours d'échanges à Paris, par correspondance ou lors de mon séjour à Montpellier. Je lui ai soumis de nombreux problèmes de détermination, mais également il a bien voulu suivre ma thèse du point de vue botanique en acceptant d'en lire au fûr et à mesure de leur rédaction, un certain nombre de chapitres. Ses conseils de botaniste connaissant très bien l'Afrique du Nord et une partie du Sahara m'ont été extrêmement précieux. Que M. GUINET soit ici remercié très profondément pour tout le temps qu'il m'a consacré.

Auprès de botanistes, de palynologues ou de spécialistes des problèmes africains ou sahariens, j'ai rencontré un chaleureux accueil.

M. Th. MONOD, membre de l'Institut, Directeur du Laboratoire des Pêches Outre-Mer au Museum d'Histoire Naturelle, a accepté que je vienne soumettre à sa grande expérience des questions africaines, celles qu'ont posées mes propres recherches ; il m'a de plus offert la possibilité de consulter, dans son Laboratoire, une abondante documentation, ce dont je le remercie très vivement.

M. Ch. SAUVAGE, Professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier, m'a manifesté son encouragement et son intérêt en présence des complexes résultats que je venais soumettre à sa connaissance des flores d'Afrique du Nord : qu'il veuille bien recevoir l'expression de ma gratitude.

M. P. BIROT, Professeur à la Faculté des Lettres, m'a également reçue en accordant beaucoup d'attention aux résultats de mes analyses. Je l'en remercie respectueusement.

M. L. FAUREL, Directeur-Adjoint du Laboratoire de Mycologie et de Cytologie tropicale de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes, m'a donné de très

intéressants renseignements botaniques sur l'Afrique du Nord et le Sahara septentrional et oriental, ce dont je lui suis reconnaissante.

M. A. PONS, Directeur du Laboratoire de Botanique historique et de Palynologie de la Faculté des Sciences de Marseille (St. Jérôme), pionnier de la Palynologie saharienne, m'a plusieurs fois fait part, au début de ces recherches, des difficultés qu'il avait lui-même rencontrées lors de ses premiers travaux au Hoggar.

Quant aux problèmes de morphologie pollinique, auprès de Mme Th. CERCEAU-LARRIVAL, Maître de Recherches au C.N.R.S., spécialisée dans l'étude des plantules et des pollens d'Ombellifères, j'ai trouvé également une extrême gentillesse et un vif intérêt pour les pollens de cette famille, présents dans les sédiments sahariens. Que Mme CERCEAU-LARRIVAL soit vivement remerciée de son amicale et réconfortante attention.

M. J. DUBIEF, Physicien-adjoint honoraire à l'Institut de Physique du globe de Paris, voudra bien trouver ici l'expression de ma reconnaissance à la suite du très intéressant entretien qu'il m'a accordé sur des problèmes difficiles de climatologie saharienne.

A l'Institut d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux, j'ai été très aimablement accueillie et j'ai trouvé la possibilité de constituer une importante collection de référence de pollens d'Afrique tropicale dans l'Herbier dont M. J.P. LEBRUN, Taxinomiste et Ingénieur d'Agriculture Africaine, m'a largement facilité l'accès.

Ma pensée rejoint ceux que je ne puis séparer de l'existence, à Béni-Abbès, du Centre qui a été le point de départ de toutes mes recherches.

A M. N. MENCHIKOFF, fondateur et premier Directeur du Centre de Recherches Sahariennes, devenu Centre de Recherches sur les Zones Arides, je dois d'avoir facilité ma première mission en 1962. Je le remercie très vivement du sympathique accueil qu'il m'a toujours réservé.

Je remercie également M. J. MARCAIS, actuellement Directeur du Centre de Recherches sur les Zones Arides, de l'accueil favorable qu'il a réservé au projet de publication de ce mémoire.

VII

Avec beaucoup d'amitié je pense à tous ceux rencontrés au Centre de Béni-Abbès. Au cours de deux missions en 1962 et 1967, j'y ai trouvé une amicale communauté d'Européens et de Musulmans au milieu desquels il faisait bon se retrouver au retour de nos courses. M. J. MATEU, M. Y. KAST ont été des compagnons de route. M. J. MATEU m'a confié l'analyse de sédiments des sites néolithiques qu'il a fouillés. Je ne saurai oublier l'aide fidèle et efficace, sur le terrain, de BOUDJMA BEN BOUZID et parfois de son frère ABDERHAMANE, celle également d'ABDERHAMANE SALMI et enfin de BACHIR KEBIR, que quelques stages à Paris nous ont donné le plaisir de retrouver. M. ARMONGON m'a rendu le très grand service de m'adresser, il y a quelque temps, des prélèvements de boue actuelle de la Saoura.

A titres divers, je tiens à remercier ceux qui, au Laboratoire de Palynologie de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes, m'ont apporté leur concours ou leurs conseils: Mlle J. COHEN, Mlle DEROUET, Mme BEAUNIER, M. MARCEAU. J'adresse une pensée très amicale à Filomena DINIZ, au souvenir de sa présence si attentive et des fructueux échanges que nous avons eus lors de mon séjour au Laboratoire de Montpellier.

Quant à la réalisation matérielle de ce mémoire, elle a nécessité de nombreuses collaborations.

Je remercie amicalement Dora LEIDERVARGER qui a assuré la dactylographie du texte suivant, avec beaucoup de compétence et une constante disponibilité.

Au sein même du Groupe des Laboratoire du C.N.R.S. à Bellevue, j'ai trouvé les moyens de composer ce mémoire. Dans le Service Imprimerie que dirige M. PONCHOT, le complaisant et patient concours de Mmes MARROT, GIBault, de M. EVEN, ont permis la reproduction du texte, des figures, des tableaux. Le Service Photographie dont s'occupe Mme FAUTRET a réalisé la reproduction des planches hors-texte grâce à MM. ROUSSEAU et DELORME. Mme SINGER a prêté son concours toujours aimable. A M. F. BEAUJEAN je dois la reproduction photographique de toutes les figures et des tableaux.

C'est à tous ceux, plus proches, du Laboratoire de Géologie du Quaternaire que je voudrais maintenant exprimer mon amicale reconnaissance. Chacun à sa façon, m'a largement aidée dans la réalisation de ce travail et dans son achèvement.

VIII

L'amitié ancienne de plusieurs d'entre eux m'a été précieuse tout au long de ces années de recherches. J'ai évoqué tout ce que je dois à Mlle ALIMEN qui, jusqu'à une date proche encore, a dirigé le Laboratoire en même temps que les recherches propres à chacun des chercheurs. Monsieur H. FAURE assure à sa suite la Direction du Laboratoire ; je le remercie vivement de l'intérêt qu'il a déjà porté à mon travail et du souci qu'il a de son rapide achèvement.

Que l'on me permette de laisser ma pensée aller vers les "Sahariens" de notre équipe qui ont partagé avec Mlle ALIMEN ou avec moi-même de joyeux et laborieux périples. C'est alors à Nicole PAGE que j'exprime ici mon affectueuse gratitude, pour sa disponibilité de tous les instants et l'aide irremplaçable qu'elle m'apporte dans le moment présent. Je pense aussi à Nicole et Jean CHAVAILLON dont les travaux ont précédé ma propre thèse : si leurs recherches, maintenant éthiopiennes, les éloignent beaucoup du Sahara, je ne leur garde pas moins mon amitié fidèle. Je veux exprimer aussi mon amicale reconnaissance à Michel DECOBERT qui a assuré avec tenacité et compétence le dessin de la quasi-totalité des figures ou des cartes qui illustrent cette thèse. Un petit nombre de coupes ont été dessinées par Christiane POTTIER avant son départ du Laboratoire. Michel DECOBERT m'a totalement déchargée des soucis de reproduction des illustrations, en assurant la liaison entre le Service photographique et l'Imprimerie. Que Odette BOUHEY, qui a pris en charge la frappe et la mise en page des tableaux, soit aussi assurée de mon amicale admiration pour le soin et la patience qu'elle y a consacrés. Je remercie également Françoise GUERRE qui assure avec efficacité le dépouillement de la documentation et qui, de cette façon, m'a rendu de multiples services depuis sa venue au Laboratoire. Si j'ai tenu à l'exprimer dans le texte de ce mémoire, je veux redire ici que c'est à Guy RIOLLET que je dois la collaboration la plus constante. Guy RIOLLET, depuis plusieurs années, s'est attaché avec opiniâtreté à la tâche sûrement la plus ingrate, le traitement des sédiments et également le montage des lames de référence. Sur lui reposent diverses charges matérielles qui concernent la section de Palynologie du Laboratoire. Qu'il soit assuré de ma reconnaissante amitié. Que reçoivent aussi mon amitié ceux qui m'entourent de leur présence et souvent de leurs encouragements : Raymonde BONNEFILLE, Odette CONCHON, Françoise GASSE, Maurice TAIEB et que soient très particulièrement remerciés pour leurs conseils ou leur aide précieuse en diverses occasions Michel ICOLE et Lucien CASTA.

IX

Vers mes parents, frères et soeurs enfin vont mes pensées affectueuses. A mes parents je dois tout particulièrement ces années d'étude supérieures qui m'ont conduite vers la voie de la Recherche et je leur exprime ma très affectueuse gratitude. Que leurs soient associés mes frères et soeurs et aussi les plus proches amis dont l'affection a si souvent soutenu mon effort.

INTRODUCTION

*"Formuler un problème est souvent plus
essentiel que d'en donner une solution"*

EINSTEIN.

L'étude palynologique ici présentée s'inscrit dans le cadre géographique-ment plus vaste des recherches géologiques antérieures, entreprises sur les formations néogènes et quaternaires au Sahara nord-occidental, en premier lieu par Mlle ALIMEN (1952), poursuivies par elle-même, puis par J. CHAVAILLON (1964) et G. CONRAD (1969). Notre propre étude concerne un domaine plus restreint qui, au coeur du bassin endoréique de la Saoura et débordant quelque peu sur celui de la Daoura, s'étend sur 120km à vol d'oiseau du Nord au Sud, de part et d'autre du 30° parallèle et sur 200km d'Est en Ouest, à l'Ouest du Méridien zéro (Fig. 1). Ce territoire recouvre une partie de l'oued Saoura (altitude minimale relevée : 360 m) et la quasi-totalité des Monts d'Ougarta (altitude maximale non éloignée de 900m) (Fig. 2). S'inscrivant dans les formations néogènes constituant la Hamada du Guir et à l'Ouest, celle de la Daoura ou dans des formations antérieures sont visibles, dans la morphologie de la région, les manifestations, dès le début du Quaternaire d'une alternance de cycles (chaque cycle étant caractérisé par la succession d'une phase érosive et d'une phase de sédimentation). L'ébauche d'une terminologie traduisant la chronologie des formations quaternaires revient à H. ALIMEN (1951). Cette terminologie évolua jusqu'à ce que ses principaux termes actuels soient proposés par H. ALIMEN et J. CHAVAILLON (H. ALIMEN, J. CHAVAILLON et G. CONRAD, 1959) et fut définitivement fixée par J. CHAVAILLON dès 1960.

Trois divisions majeures, au cours du Quaternaire, réunissent chacune deux cycles sédimentaires :

- Quaternaire ancien : (Aïdien
 (Mazzérien

- Quaternaire moyen : (Taourirtien
 (Dugartien
- Quaternaire récent : (Saourien
 (Guirien

La figure 3 met en évidence la disposition relative des terrasses construites au cours de la phase de sédimentation propre à chacun des cycles précédents.

La terminologie adoptée par G. CONRAD (1969) est quelque peu différente. L'auteur s'exprime selon les termes suivants : Plio-Villafranchien, Villafranchien supérieur, Pleistocène moyen, Pleistocène supérieur et Holocène.

Nous avons nous-même adopté la terminologie utilisée par J. CHAVAILLON, mais à chaque étape de l'étude palynologique stratigraphique nous rappellerons les termes équivalents de la chronologie de G. CONRAD.

L'étude qui suit a été envisagée selon trois grandes subdivisions.

En premier lieu doit être situé, par rapport au désert saharien s.l. et aux divers problèmes qui lui sont afférents, le contexte caractérisant plus précisément le territoire étudié : contexte climatique, environnement végétal. Des considérations d'ordre phytogéographique conduiront à définir le concept "élément", principe même de notre classification des familles, genres ou espèces représentés par leurs pollens dans les sédiments étudiés. Il sera enfin fait état des connaissances actuellement acquises des microflores quaternaires, pour l'ensemble du Sahara.

En second lieu, seront envisagés toutes les questions que l'on peut rassembler sous le terme général "méthodologie":

- techniques et méthodes de préparation des échantillons analysés.
- vue globale de la composition des microflores déterminées et catégories d'"éléments", fixées selon le principe antérieurement défini.

- problèmes concernant la morphologie de certains pollens plus spécialement et devant être résolus avant que soit engagée l'étude palynologique stratigraphique.

- réflexions critiques enfin, suscitées par la juxtaposition dans les flores polliniques de groupes d' "éléments" supposant, dans la nature actuelle, des condi-

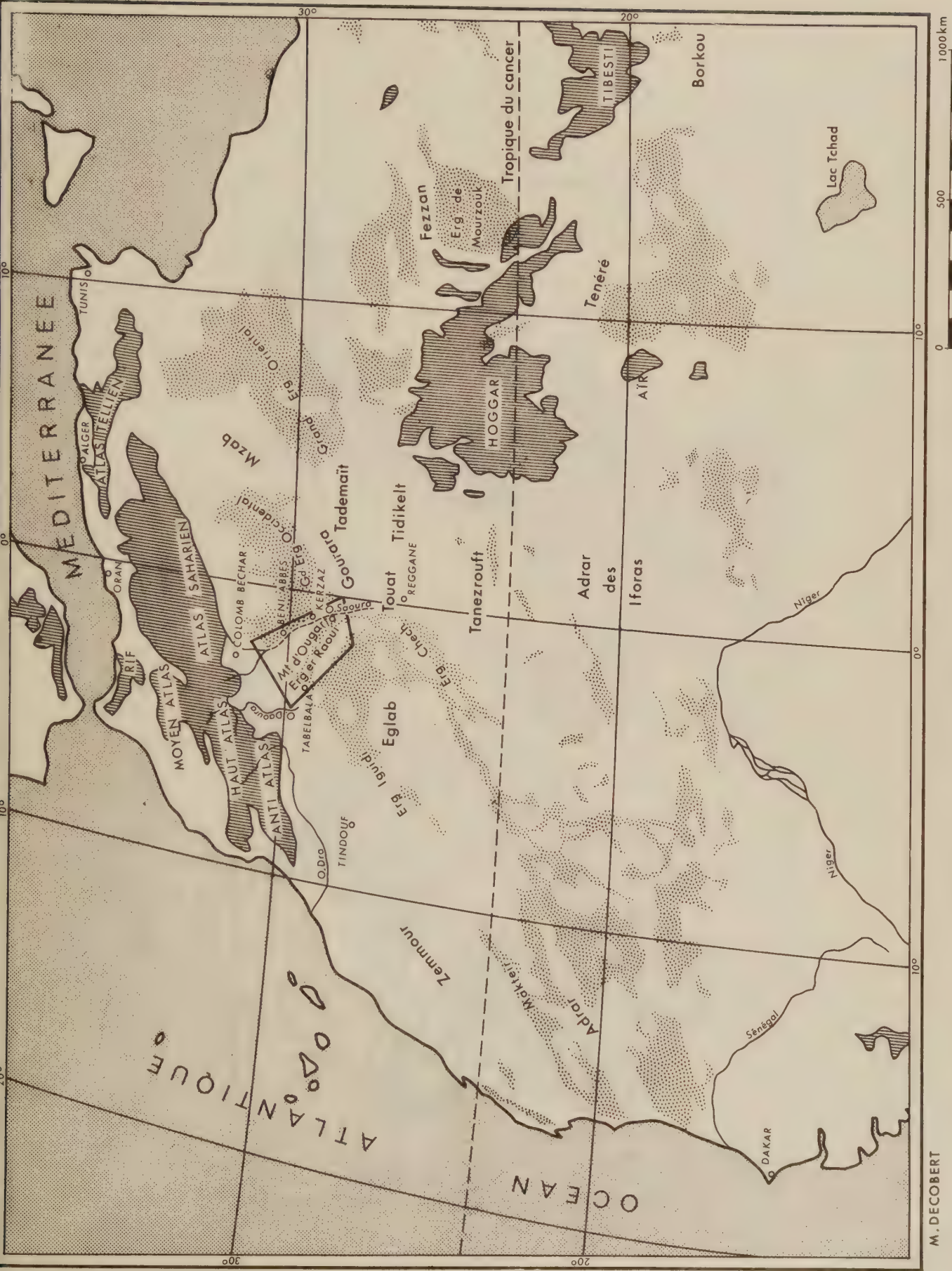


Fig:1 Limites géographiques de la région étudiée au Sahara nord-occidental (inspiré de la figure de G.CONRAD, 1969, page 20)

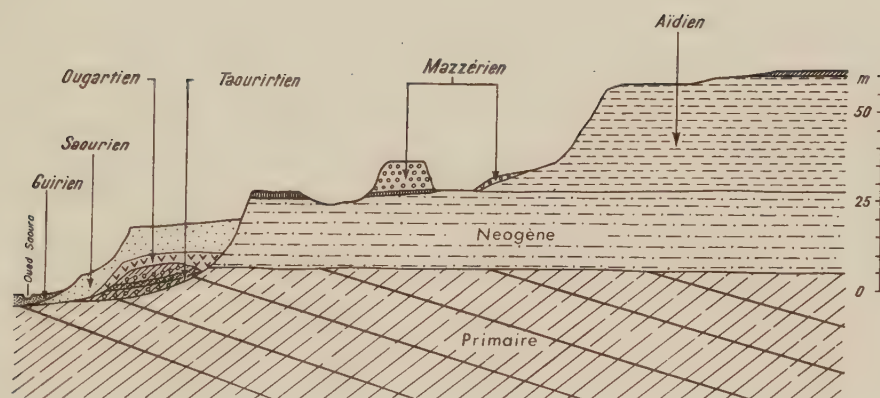


Fig. 3 Coupe schématique à travers les formations néogènes et quaternaires dans la vallée de l'oued Saoura (d'après H. ALIMEN, 1965)

-tions écologiques diverses, voire assez éloignées et discussion quant aux possibilités d'interpréter ces associations compatibles ou incompatibles.

En dernier lieu sera abordée l'étude palynologique stratigraphique, dont les conclusions relatives à chaque cycle précédemment évoqué seront rassemblées dans un chapitre de conclusions générales, également destiné à mettre en évidence les points fondamentaux d'ordre paléofloristique et paléoclimatologique dont on pourra proposer l'hypothèse au terme de ce mémoire.

Dès à présent nous insistons sur le fait que seront abordées ultérieurement des analyses concernant plusieurs formations sédimentaires ayant déjà fait l'objet de publications. Nous les avons ré-envisagées ici suivant une orientation très différente, à la suite d'une évolution inéluctable de notre réflexion en présence des problèmes complexes qu'elles ont posés et à la faveur d'un plus grand nombre de résultats obtenus. Nous avons été amenée à des interprétations qui vont à l'encontre de celles pour lesquelles nous avons pris parti il y a un petit nombre d'années. Il importait que ceci soit très clairement précisé.

SIGNIFICATION DES NOMS LOCAUX UTILISES DANS LE TEXTE

-
- acheb = pâturage composé de plantes éphémères à la suite des pluies
- aïn (arabe) = source
- daïa = dépression fermée, à fond argileux ou argilo-sableux où se rassemblent les eaux de ruissellement après les pluies.
- chaba (arabe) = ravin (diminutif : chabet)
- djebel (arabe) = montagne
- erg (arabe) = massif ou région dunaire
- foum (arabe) = sens littéral : bouche. Localise le débouché d'une vallée dans une plaine, d'une vallée intradjebellienne sur le piedmont ou d'un couloir dans l'erg sur la bordure de l'erg.
- gara (arabe) = colline isolée à pentes raides et souvent surface tabulaire. Selon les morphologistes : butte-témoin.
- guelta (arabe) = flaque d'eau permanente ou temporaire
- hamada (arabe) = plateau tabulaire
- hassi = puits
- kheneg (arabe) = défilé, vallée encaissée
- meksem (arabe) = passage faisant communiquer deux vallées
- reg (arabe) = plaine couverte de cailloux
- rokna (arabe) = rentrant de la lisière de l'erg, en forme de coin.
- sebkha (arabe?) = dépression fermée caractérisée par la présence de dépôts de ~~sels~~ et l'absence de végétation (ex.: sebkha el Mellah).

P R E M I E R E P A R T I E

ENVIRONNEMENT ACTUEL :

Climat, flore et végétation du Sahara.
Végétation forestière en Afrique du Nord.

SYNTHESE DES TRAVAUX EFFECTUES EN PALYNOLOGIE SAHARIENNE.

CHAPITRE I

LIMITES DU SAHARA ET CONTEXTE CLIMATIQUE ACTUEL

"Décrire le climat saharien est devenu, de nos jours, une tâche ardue et considérable, tant par l'abondance et la diversité des données qu'il est nécessaire de recueillir, que par la multiplicité des sources de renseignements. De plus lorsqu'on se penche sur ce problème, on s'aperçoit rapidement que le Sahara n'est pas soumis à un climat unique, mais à un ensemble de climats assez différents, bien qu'ayant des caractères essentiels communs Cette diversité du climat saharien entraîne nécessairement l'obligation d'étendre son étude à l'ensemble du pays et notamment de l'Atlantique à la Mer rouge, si l'on ne veut pas risquer de généraliser des caractéristiques qui ne sont propres qu'à une région".

Ce sont ici les toutes premières réflexions qui introduisent le Tome I (p. 7) de l'impressionnant et remarquable ouvrage de J. DUBIEF sur "Le climat du Sahara" (1959,1963). D'emblée, elles font saisir le caractère extrêmement schématique que devra recouvrir ce présent chapitre et la très grande prudence avec laquelle seront évoquées des définitions dont la compréhension et le contenu dépassent de loin qui n'est pas spécialiste de ces questions. En plaçant ce chapitre en tête de la première partie de notre étude, partie consacrée à l'environnement général dans lequel se situe la région géographiquement très délimitée que concernent ces recherches, nous n'avons d'autre but que rappeler en un premier temps, les limites du vaste désert auquel appartient le secteur étudié au Sahara nord-occidental. Ensuite seront rappelés les principaux critères qui servent à définir le climat désertique en général, ce dernier déterminant tout le contexte botanique actuel, ainsi que les problèmes phytogéographiques qui lui sont afférents et qui, d'ailleurs, feront l'objet des chapitres suivants. Ces critères climatiques une fois présentés, nous essaierons de voir

s'il est possible d'utiliser une part d'entre eux pour caractériser plus précisément la région qui nous intéresse.

I - Les limites du Sahara

S'il est facile de situer les limites naturelles, occidentale et orientale, du vaste désert nord-africain, s'étendant d'Ouest en Est depuis la côte atlantique jusqu'à la Mer Rouge, la définition de ses frontières septentrionale et méridionale a fait l'objet de nombreuses réflexions de la part des botanistes, des géographes et des climatologues. Le problème a été longuement discuté notamment, par R. CAPOT-REY (1952, 1953). Assez récemment, P. QUEZEL (1965a) a apporté une contribution plus purement phytosociologique à cette question, qu'il considère comme ne pouvant recevoir qu'une solution provisoire, quant à la partie septentrionale du Sahara du moins, en l'attente de recherches plus approfondies relatives aux associations floristiques et d'études cartographiques de la végétation. Dans l'état actuel des définitions adoptées, deux facteurs sont utilisés pour fonder l'existence des limites septentrionale et méridionale du Sahara : les précipitations (facteur climatique) et les plantes indicatrices (facteur botanique).

1) Les précipitations.

Elles constituent l'élément climatique essentiel qui conditionne l'installation d'un régime de type désertique. Les climatologues qui ont adopté la façon la plus simple de définir les limites du Sahara ont choisi, au Nord l'isohyète des 100 mm. au Sud, celui des 150 mm, la différence entre ces deux valeurs de référence étant liée au fait que les précipitations, au Sud du Sahara, se produisent en période chaude, donc à un moment où l'évaporation est plus intense. Le tracé de l'isohyète des 100 mm. est repérable sur la figure 5 (p. 12), celui des 150 mm n'y figure pas mais peut y être approximativement situé.

2) Les plantes indicatrices.

Comme l'a exprimé R. CAPOT-REY (*loc. cit.*, p. 7), "l'unité d'une région est faite avant tout par son paysage". La description très développée que donne cet auteur du "paysage désertique" qui caractérise le Sahara, compte un certain nombre d'espèces végétales dont la disparition, vers le Nord ou vers le Sud, sont des critères de délimitation du désert.

a) Dans la partie septentrionale du Sahara, l'un des premiers critères adopté fut la limite Nord des palmeraies, limite très artificielle toutefois, puisque le palmier-dattier n'est pas spontané en ces régions où il a été introduit, avant d'en constituer le principal élément de culture. La limite de son extension n'est pas très différente du tracé de l'isohyète des 100 mm. Elle est également intermédiaire entre les tracés voisins de l'isotherme des 28° en juillet et de celui des 7° en janvier et constitue donc bien une limite climatique. Cependant, cette limite de l'extension des palmeraies vers le Nord marque de très nettes incursions en des territoires qui ne sont plus désertiques, dans les régions littorales marocaine et tunisienne et surtout dans le Hodna, à Bou Saâda, où la pluviosité n'est plus du tout saharienne.

P. QUEZEL (*loc. cit.*) met l'accent, par contre, sur la signification de la limite méridionale de l'alfa (*Stipa tenacissima*), problème envisagé par A. MONJAUZE, L. FAUREL et G. SCHOTTER (1955). Cette limite toutefois n'est pas très aisée à préciser, à partir du moment où l'on s'éloigne de l'aire continue de l'espèce, développée en nappes importantes sur les Hauts Plateaux et les pentes de l'Atlas, du Maroc à la Tunisie. L'alfa ne supporte pas une humidité excessive et, principalement, les eaux stagnantes. C'est pourquoi son aire est très disloquée dans les zones littorales d'où la plante est quasiment absente. Au Sud de l'Atlas saharien, dans la région de Ghardaïa, l'alfa franchit l'isohyète des 100 mm et de façon très dispersée, occupe des stations résiduelles qui laissent présumer d'une plus large extension méridionale, dans un passé sûrement récent, en un territoire considéré actuellement comme une zone de transition à caractère déjà saharien. P. QUEZEL insiste sur le fait que, pas plus que celle des palmeraies vers le Nord, la limite Sud de l'alfa n'est pas très différente du tracé de l'isohyète des 100 mm. Pour cet auteur, la

limite artificielle de l'extension vers le Nord du palmier-dattier peut être éliminée, mais par contre, celle de l'extension méridionale de l'alfa est du plus grand intérêt car cette espèce, ainsi que toute association la comptant dans sa composition, "exclut de façon absolue toute végétation de type saharien tout à fait typique" (*loc. cit.*, p. 17).

Tout ceci conduit à l'évidence qu'il est en fait actuellement impossible de définir la limite septentrionale du Sahara par un tracé précis et définitif. L'auteur sus-cité estime que l'intervention de facteurs locaux, de microclimats notamment, entrent en jeu dans une zone d'une cinquantaine de kilomètres de large, dans laquelle se juxtaposent deux types de végétation, méditerranéenne et déjà saharienne.

Quant à la région que concerne cette étude palynologique, notons pour la situer par rapport à la limite septentrionale du Sahara, matérialisée par le tracé de l'isohyète des 100 mm, que l'oasis de Béni-Abbès choisie pour point de repère, se trouve, sur le méridien, à 200 km au Sud du passage de l'isohyète en question. Cette distance relativement faible engage à retenir avec d'autant plus d'intérêt, en vue de l'étude ultérieure, l'idée précédemment exprimée de l'existence d'une zone de passage confuse entre le Sahara *s.s.* et les territoires encore méditerranéens au Nord.

b) Dans la partie méridionale du Sahara, la limite du désert est moins délicate à établir. Correspondant de façon presque absolue à l'isohyète des 150 mm, l'apparition de certaines espèces dans le paysage végétal matérialise le passage du Sahara au Sahel. De nombreuses plantes marquant cette évolution pourraient être choisies pour caractéristiques. Il est admis que la limite méridionale du Sahara est celle de l'apparition du "Cram-Cram" (*Cenchrus biflorus*), Graminée soudanaise dont la morphologie originale est repérable dans la physionomie du paysage. Cette limite est également celle de la disparition du "Had" (*Cornulaca monacantha*), Chénopodiacee typiquement saharienne, principalement halophile, des bordures d'ergs notamment.

II - Les grands traits de la climatologie saharienne.

Ce paragraphe sera particulièrement schématique. Les éléments majeurs de la connaissance de la climatologie saharienne étant dûs, nous l'avons vu, à J. DUBIEF (*loc. cit.*), des synthèses en ont été faites, sur un certain nombre de points du moins par P. QUEZEL (*loc. cit.*), puis G. CONRAD (1969). Nous nous limiterons donc ici à des données très succinctes empruntées à l'ouvrage principal de J. DUBIEF, en partie indirectement, à travers les synthèses des derniers auteurs cités. Les phénomènes thermiques, les courants aériens, les précipitations et l'humidité atmosphérique, dont dépend le climat saharien actuel, seront abordés successivement.

1) Les phénomènes thermiques.

Seuls seront envisagés les critères dont les manifestations sont tangibles et conditionnent la vie animale et végétale : nébulosité, insolation, température du sol, température de l'air sous abri.

a) La nébulosité, exprimée par la fraction du ciel couverte par les nuages et traduite en dixièmes, est extrêmement faible au Sahara. Comprise entre 2 et 3 dixièmes en général, elle n'atteint des valeurs supérieures que dans les régions montagneuses ou atlantiques. Au Sahara septentrional s.l. dont dépend la région ici étudiée, la prédominance des nuages en hiver est liée aux dépressions déterminées par le front polaire, tandis que la nébulosité est maximale, en été, dans les régions méridionales soumises aux moussons soudanaises.

b) L'insolation moyenne annuelle est de l'ordre de 9 à 10 heures, dans la plus grande partie du Sahara (sauf, comme précédemment au Hoggar et au Sahara atlantique). Des variations annuelles sont également liées au front polaire (maximum d'insolation en été au Sahara septentrional s.l.) et aux moussons soudanaises (maximum d'insolation en hiver au Sahara méridional). L'insolation est naturellement liée à la nébulosité.

c) La température du sol est un élément majeur qui conditionne toute la physiologie de la couverture végétale :

- la température de surface dépend du substrat recevant les radiations solaires, la perméabilité thermique des sables étant par exemple beaucoup plus grande que celle des regs. Des écarts considérables peuvent être enregistrés, au cours d'un mois, entre les températures minimales nocturnes et celles maximales diurnes : écart de 74° atteint, en janvier, à Tamanrasset. Ces écarts sont plus accentués en hiver qu'en été.

- ces écarts de températures s'estompent à partir de 0,50 m de profondeur.

d) La température de l'air sous abri, mesurée dans les diverses stations météorologiques sahariennes, permet de calculer :

- des températures moyennes mensuelles ou annuelles,

- des valeurs moyennes des températures minimales et maximales.

Les données qui résultent de ces mesures complexes conduisent aux quelques conclusions suivantes :

- au Sahara il peut faire froid, en hiver, la nuit et les gélées nocturnes laissent leur empreinte, au lever du soleil, au Sahara nord-occidental notamment, sur les dunes du Grand Erg. C'est un phénomène qui reste rare cependant. En été il fait toujours chaud même la nuit.

- le Sahara septentrional est moins chaud que le Sahara méridional et le Sahara occidental a des températures maximales plus élevées de 5° que le Sahara oriental.

- l'équateur thermique, où les températures moyennes annuelles sont voisines de 30° , traverse le Sahara méridional légèrement au Nord de la boucle du Niger et du lac Tchad.

2) Les courants aériens.

Le Sahara s'intègre dans une bande désertique axée sur le Tropique du Cancer. Son existence est liée à une zone de hautes pressions subtropicales correspondant à des masses d'air entre lesquelles s'établissent des échanges avec le front intertropical. En vertu du déplacement de ce dernier

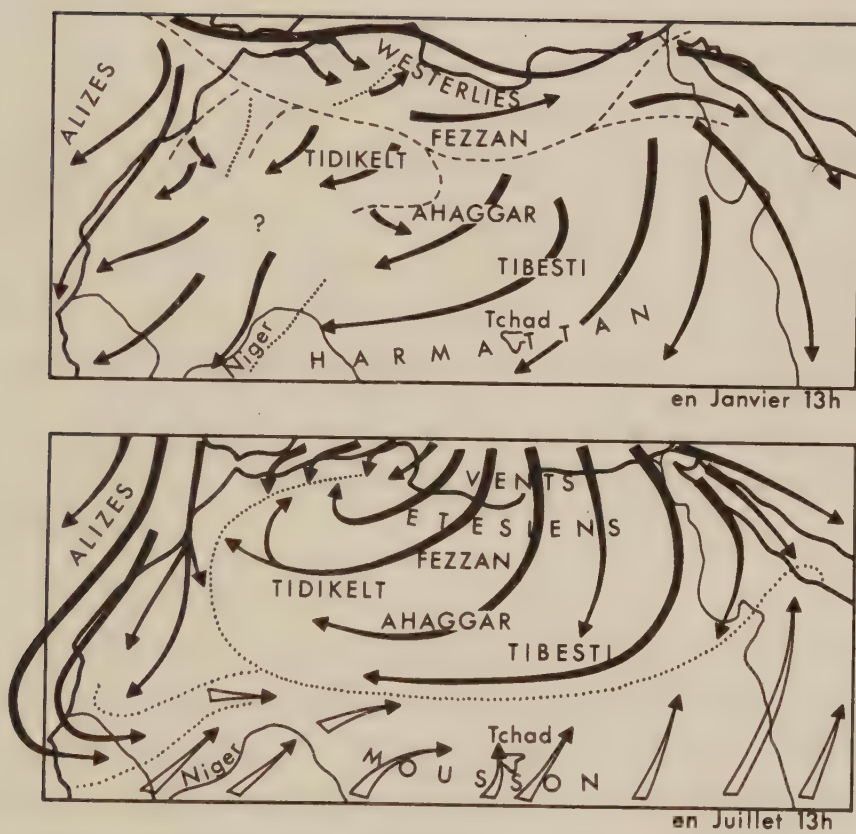


Fig. 4 Direction des vents prédominants, quelles que soient leurs forces, en janvier et en juillet, à 13 heures T.U. (d'après J. DUBIEF, 1952)

au cours de l'année solaire, le régime de ces échanges est lui-même variable et, pour être très schématique, en suivant le court exposé de J. DUBIEF (1951, p. 187-189), nous définirons les principaux courants caractérisant la situation en janvier et en juillet (figure 4). Nous nous limiterons au problème des courants à basse altitude, c'est-à-dire des vents au sol, puis la question des vents de sable sera brièvement posée.

a) En janvier

Alizé et harmattan résultent d'un échange entre les hautes pressions subtropicales que sont l'anticyclone des Açores (air tropical maritime), la dorsale anticyclonique saharienne (air tropical continental s'étendant du Maroc au Sud de la Lybie) et les dépressions liées au front polaire.

- l'alizé est un vent de secteur Nord-Nord-Est, soufflant sur l'Atlantique et les régions sahariennes, s'étendant parfois jusqu'au Sahara central. Il est vecteur d'air tropical maritime humide qui, en circulant à basse altitude sur le Sahara, y perd son humidité et devient asséchant.

- l'harmattan est un vent d'hiver exclusivement, de secteur Est, déplaçant, au contraire de l'alizé, de l'air tropical continental. Il atteint le Sahara méridional.

b) En juillet

Le déplacement du front intertropical vers le Nord est accompagné d'une remontée de la mousson soudanaise, jusqu'à la limite du Sahara méridional. Par ailleurs, il n'y a plus de zones de hautes pressions correspondant à la dorsale anticyclonique saharienne.

- Les courants aériens sont dominés par les "vents étésiens" qui envahissent l'ensemble du Sahara. Vents de secteur Nord, frais et humides lorsqu'ils abordent la côte méditerranéenne, ils deviennent desséchants sur leur parcours saharien. Conservant leur direction Nord-Sud au Sahara oriental, ils abordent le Sahara méridional et central en tournant vers l'Ouest. Par contre ils tournent très vite à l'Ouest au Sahara occidental pour remonter vers le Sud de l'Atlas saharien. Au niveau de ces massifs, une ligne de convergence les sépare des vents de Nord-Est, à l'Est de l'Algérie du Nord.

Ces vents, au parcours méditerranéen, sont un prolongement européen de l'anticyclone des Açores qui, à cette époque, a migré vers le Nord. Ils donnent à l'atmosphère une très grande pureté et ne provoquent jamais de pluies.

- l'alizé souffle encore sur la côte atlantique du Sahara jusqu'au Sénégal où, vers l'Ouest, il s'oriente en direction de la boucle du Niger. Les vents étésiens atteignent des températures très élevées au Sahara méridional et occidental et, ainsi que les vents alizés, créent au-dessus de la mousson au Sud, une forte inversion de température qui inhibe le développement de nuages. Les vents étésiens contiennent donc la mousson et limitent son action vers le Nord. J. DUBIEF insiste sur le fait que "du point de vue climatique, on doit considérer les alizés et les vents étésiens comme des agents de désertification" et que "l'on peut se demander quelle serait la modification du climat qu'entraînerait leur affaiblissement" (1951, p. 189).

c) Cas particulier des vents de sable.

L'étude du mécanisme et des effets des vents de sable a fait l'objet de bien des recherches. Une discussion fut reprise par J. DUBIEF dans sa publication de 1952 (p. 145 et suiv.). Ici encore nous n'aborderons que de brèves données empruntées à l'auteur, données qui touchent à un problème fort complexe, conditionnant la formation des dunes et des ergs et l'évolution du modelé dunaire qu'il n'est évidemment pas question d'envisager ici.

Les vents de sable, phénomènes locaux, que trop d'auteurs anciens n'ont pas distingués des vents de poussière dont les manifestations peuvent être intercontinentales, résultent d'actions complexes à la fois mécaniques et physiques. Envisagés au sens large par J. DUBIEF, ils assurent le transport d'un matériel détritique plus ou moins grossier, par roulage, saltation ou en suspension, selon la taille des particules. La capacité de transport est liée à la stabilité du courant qui entraîne le soulèvement des particules. La fréquence annuelle des vents de sable est variable et les zones des maxima se situent à la bordure nord et sud du Sahara. Au cours de l'année les valeurs maximales et minimales de la fréquence des vents sont variables géo-

graphiquement. Au Sahara septentrional, les maxima se produisent en avril et, partout ailleurs, en mai. Cependant, en Saoura notamment, un maximum plus faible intervient parfois en septembre. Quant à la durée et aux heures auxquelles correspondent les vents de sable, il apparaît statistiquement assez exact qu'il s'agit en général de phénomènes diurnes, encore qu'à Beni-Abbès précisément, la fréquence des vents de sable nocturnes dépasse 50% en juillet-août. Ces perturbations semblent légèrement plus fréquentes par vents de secteur Nord-Est et les heures du début et de la fin de leurs manifestations sont parfois tout à fait nettes, d'autant plus nettes que l'atmosphère est plus sèche. D'une façon générale, on peut dire que la durée des vents de sable croît de la périphérie vers le Centre du Sahara, des massifs montagneux vers les plaines et que les vents d'Est semblent donner des vents de sable de durée un peu plus longue que ceux de secteur Ouest. Les directions des vents de sable présentent une variation annuelle très nette au Sahara septentrional s.l. : de direction sud-ouest à nord en hiver, ils tournent au Nord-Est et au Sud en été.

3) Les précipitations.

La valeur, le rythme et le mécanisme de celles-ci seront envisagés.

a) La valeur des précipitations (figure 5).

Ces dernières sont en général très faibles. Nous avons vu que le Sahara se situe entre l'isohyète des 100 mm au Nord et celui des 150 mm au Sud. Au fur et à mesure que l'on s'éloigne des marges sahariennes ou des massifs montagneux, elles sont très rapidement décroissantes. La carte pluviométrique dressée par J. DUBIEF pour les années 1926 à 1950, ici partiellement reproduite, est extrêmement explicite. Les isohyètes sont naturellement des tracés établis à partir de valeurs moyennes et il faut noter la très grande irrégularité des pluies au Sahara, où il arrive localement que des périodes de plusieurs années soient totalement privées d'eau. P. QUEZEL (*loc. cit.*, p. 27) précise que 20 mm de pluies sont indispensables "au départ et au développement de la végétation".

b) Le rythme des précipitations.

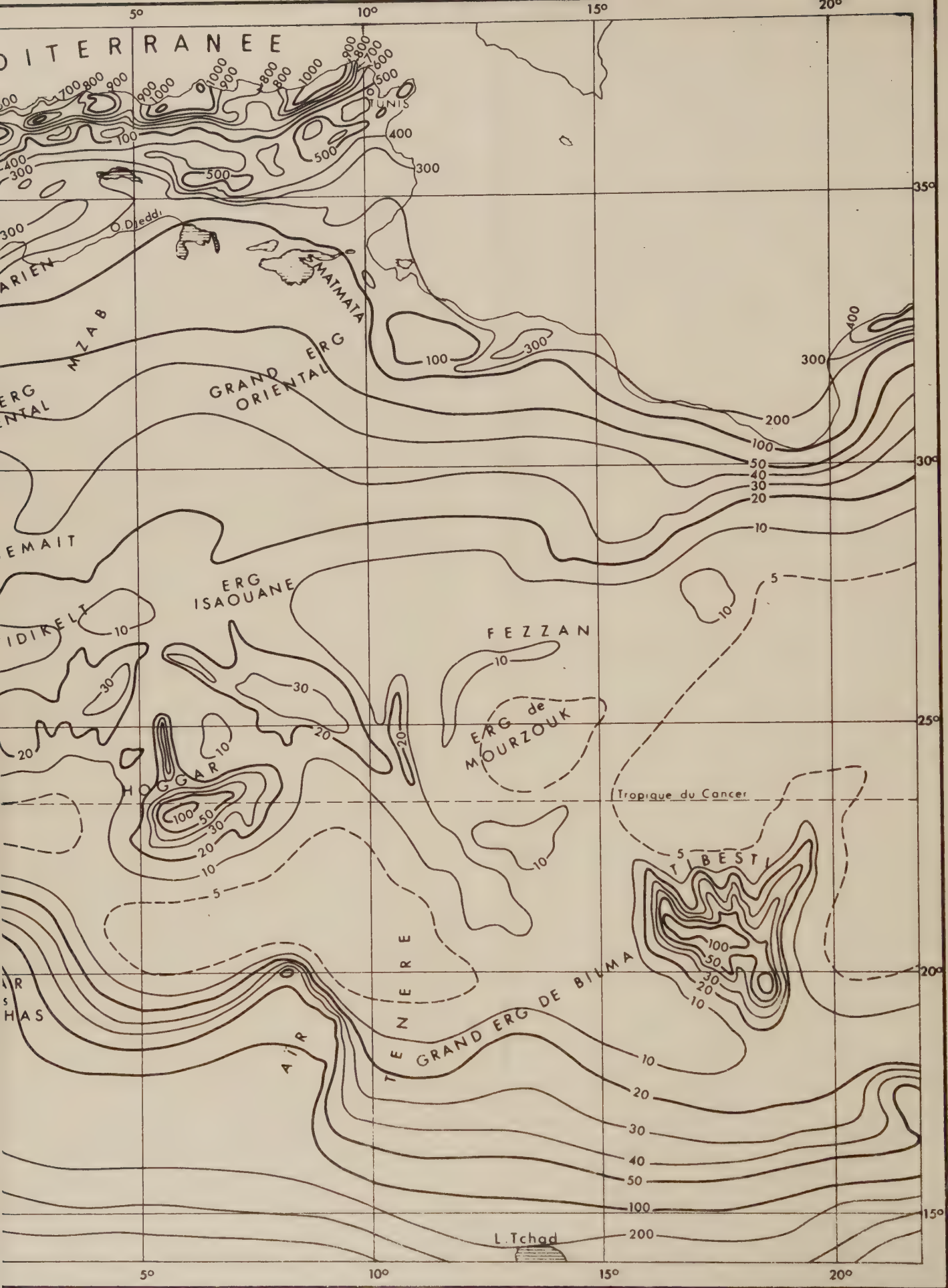
Sur ce point, c'est encore P. QUEZEL qui insiste sur l'importance capitale du rythme des pluies dans l'individualisation et la signification biogéographique de la végétation saharienne. Nous suivrons très précisément les données qu'il rappelle, établissant une distinction entre trois grands types de rythme de précipitations :

- un rythme de type méditerranéen, caractérisant le Sahara septentrional, pour lequel sont données des valeurs, relevées à Ouargla, du pourcentage mensuel des précipitations mesurées pour l'ensemble d'une année. Les pluies apparaissent pendant la saison froide, de septembre à mars. A ce type, est assimilé celui qui caractérise le Sahara de la Saoura (Sahara nord-occidental) et nous préciserons les valeurs enregistrées à Colomb-Béchar et à Béni-Abbès :

	I	F	M	A	M	Ju	Jl	A	S	O	N	D
Colomb-Béchar	6,2	4,7	9,3	2,1	1,7	4,0	0,3	2,3	5,8	14,6	9,3	7,2
Béni-Abbès	1,3	2,2	7,4	1,1	0,2	0,2	0,1	1,9	3,2	4,7	5,7	3,9

L'auteur insiste sur l'analogie entre le rythme ici relevé et celui étudié à Ouargla, mais il fait également remarquer que "les valeurs accusées pour les mois d'été présentent une indiscutable survalue par rapport aux valeurs d'Ouargla, dans laquelle il est sans doute possible de voir dans une certaine mesure l'influence des pluies liées au front tropical". Nous nous souvenons de M. DUBIEF (communication orale, 1970), évoquant les orages du mois d'août à Béni-Abbès, comme la manifestation d'une sorte de "mousson méditerranéenne" parvenue jusqu'à l'Atlas saharien. Et l'on retrouve cette idée précisée en 1963 (p. 239), lorsqu'est définie la saison des pluies d'été liées aux avancées de la mousson estivale du Golfe de Guinée sur le Sahara méridional, mais affectant également, sous forme de précipitations orageuses, la bordure nord du Sahara septentrional.

- un rythme de type tropical, lié aux pluies estivales de mousson, caractérisant le Sahara méridional (Largeau, Atar).



- un rythme de type intermédiaire, selon lequel "les pluies apparaissent aussi bien en saison froide qu'en saison chaude et sont sous la dépendance aussi bien du front polaire que de l'anticyclone tropical" (P. QUEZEL, *loc. cit.*, p. 28). Ce régime de pluies caractérise le Sahara central et le Sahara occidental (Tamanrasset, Tindouf, Port-Etienne).

On pressent déjà l'incidence, sur le peuplement végétal saharien, de ces distinctions qui deviendront plus explicites lorsque seront retracées les grandes lignes de la composition de la flore actuelle du Sahara et les problèmes phytogéographiques qu'elle pose.

c) Mécanisme des précipitations.

Les pluies d'hiver liées au front polaire et celles estivales, dues à l'avancée septentrionale de la mousson soudanaise, également responsable des formations orageuses en été au Nord du Sahara, ne déterminent pas, seules, le régime précipitations sahariennes. Le Sahara est aussi le lieu de perturbations météorologiques originales : dépressions proprement sahariennes, naissant au Nord du Sahara, progressant vers le Sud et dépressions soudano-sahariennes, dirigées du Sud vers le Nord. De ces deux types de dépressions propres au Sahara, indépendantes du front polaire et du front inter-tropical, résultent (J. DUBIEF, 1963, pp. 239-240) :

- des pluies d'automne, dites "post-moussonnales", appartenant à un système de dépressions soudano-sahariennes, établissant un pont pluvieux entre le Sénégal et le Maroc à l'Ouest mais affectant également l'ensemble du Maghreb et le Sahara septentrional.

- des pluies d'hiver, qui se superposent à celles originaires du front polaire, mais doivent être rattachées à des perturbations proprement sahariennes nées au Sud du Maroc, ou encore à des dépressions soudano-sahariennes sur la côte de la Mer Rouge. Ces précipitations hivernales peuvent s'étendre jusqu'au Sahara central et au Fezzan. On parle, en Ahaggar, d'une véritable saison de pluies d'hiver à la fin du siècle dernier.

- des pluies de printemps, dites "pré-moussonnales", produites par des dépressions soudano-sahariennes et qui peuvent se relier aux pluies de printemps d'Afrique du Nord et du Nord du Sahara, en déterminant des ponts pluvieux : le plus fréquent s'allonge entre la boucle du Niger et le golfe des Syrtes. Ces précipitations peuvent atteindre "exceptionnellement" la totalité du Sahara (mai 1945).

J. DUBIEF insiste sur le fait que "toutes ces saisons pluvieuses peuvent coexister. C'est ce qui se produit normalement dans la partie nord du Sahara occidental où l'on observe souvent des pluies d'automne, d'hiver et de printemps, auxquelles s'ajoutent parfois des pluies orageuses d'été. C'est le cas de Laghouat". Nous avons précédemment évoqué ces orages d'été à Béni-Abbès, comme étant liés aux pluies moussonnales.

Cette détermination de saisons pluvieuses, dont l'existence réelle a été approfondie à la lumière des données de J. DUBIEF, pourrait laisser l'impression que la périodicité des précipitations telle qu'elle a été présentée dans le paragraphe précédent, simplifiée à l'extrême, ne répond pas à la réalité des faits. Ces dernières données n'infirment pas cependant cette périodicité dont il a été question car, si des pluies de printemps ou d'automne, particulièrement liées aux dépressions propres au Sahara, viennent se superposer aux types de régime précédemment définis, il semble rester fondamentalement vrai qu'un rythme de type méditerranéen caractérisant le Sahara septentrional s'oppose au rythme de type tropical déterminant les précipitations au Sahara méridional. Les pluies de printemps ou d'automne, nées des dépressions purement sahariennes, viennent seulement nuancer quelque peu cette opposition.

Tout cela ne doit pas faire oublier la rareté et la faible importance quantitative des précipitations qui, dans un pays sec où le déficit de saturation est important même en saison froide, se vaporisent en grande partie au cours de leur chute et apparaissent le plus souvent au sol comme des "pluies avortées".

4) L'humidité atmosphérique.

Comme l'ont exprimé les auteurs déjà cités, la sécheresse de l'atmosphère est un caractère majeur de la climatologie saharienne. Il est remarquable que les valeurs de la tension de vapeur d'eau contenue dans l'air y sont comparables à celles relevées en Europe. La sécheresse accentuée de l'air saharien est liée au fait "que la quantité de vapeur d'eau qu'il contient est toujours très inférieure à celle qu'il pourrait contenir avant d'être saturé". "C'est donc en réalité le déficit de saturation qui est très élevé au Sahara". (P. QUEZEL, *loc. cit.*, p. 29). L'humidité relative de l'atmosphère a été mesurée en de nombreuses stations. Il apparaît que :

- au Sahara septentrional et nord-occidental, l'humidité relative atteint les valeurs les plus élevées en hiver (t° relativement faibles et pluies hivernales).

- au Sahara méridional et en zone sahélienne, les valeurs les plus fortes sont reliées, au contraire, au moment des pluies estivales.

- au Sahara central et occidental, on n'enregistre que de faibles variations saisonnières, sauf en Mauritanie où l'influence de la mousson estivale est déjà accentuée et au Sahara océanique, dont l'humidité relative peut être comparée à celle rencontrée sur le littoral nord-africain méditerranéen.

Il n'est pas sans intérêt de souligner que l'évaporation annuelle dépasse au Sahara l'importance qu'elle revêt partout ailleurs sur le globe.

III - Facteurs climatiques caractérisant plus particulièrement la région étudiée.

Dans le chapitre suivant, nous ferons appel aux recherches de Ph. GUINET (1954, 1958), à qui l'on doit la carte botanique de la région concernée par cette étude palynologique. A cette occasion, l'auteur a rassemblé quelques données climatiques caractérisant plus particulièrement ce secteur très délimité du Sahara nord-occidental (1958, pp. 83-86). Elles seront rappelées ici brièvement selon les termes empruntés en grande partie à Ph. GUINET.

Le climat caractérisant la région est un climat désertique atténué (pluies annuelles, si faibles soient-elles), de type méditerranéen (pluies de printemps et d'automne - saison sèche coïncidant avec la saison chaude), continental (forte amplitude entre les températures diurnes et nocturnes).

1) La pluviosité annuelle n'y dépasse guère 30 à 40 mm dans les zones plates. Elle est supposée légèrement supérieure dans les Monts d'Ougarta où la flore est nettement plus riche à la faveur d'épandages dans les oueds et d'éboullis retenant l'humidité. L'importance annuelle des pluies y varie considérablement; à Béni-Abbès notamment des valeurs de 0,3 mm en 1929 et 80 mm en 1943 (en 12 jours) ont été notées. Il arrive que les chutes de pluie soient si faibles qu'elles soient inefficaces pour la végétation. Les pluies de printemps et d'automne sont souvent violentes et de courte durée; notons par exemple, que Béni-Abbès en 1923 a reçu 33 mm d'eau répartis ainsi : 11 mm le 27 mars, 7 mm le 27 octobre, 14 mm le 14 novembre. Cependant, pour une pluviosité totale annuelle comparable, certaines années sont marquées de périodes de pluies très faibles tout à fait insuffisantes au développement de la vie végétale. Enfin la valeur moyenne annuelle de l'évaporation est de l'ordre de 4.800 mm à Béni-Abbès.

2) Le régime thermique est caractérisé par une valeur moyenne annuelle de 22°7 enregistrée à Béni-Abbès. Des valeurs extrêmes de 47° (juillet 1932) et de - 6° (janvier 1938) ont été relevées. La température descend au-dessous de zéro durant 3 à 9 jours en moyenne. Une chute de neige a eu lieu en 1939 et, très rarement, se produisent des chutes de grêle. Il arrive de voir les flancs des dunes du Grand Erg, exposés au Nord, couverts de gelée blanche à Béni-Abbès.

IV - Conclusion

Les facteurs thermiques, les courants aériens, les précipitations qui régissent le climat du Sahara ont été précisés en un aperçu très bref au regard de l'oeuvre considérable des climatologues et principalement de J. DUBIEF. Il s'agissait pour nous d'exposer succinctement et pour comparai-

son, le contexte climatique dans lequel évolue actuellement un peuplement végétal dont, précisément, nous allons chercher s'il est possible de retrouver quelques jalons de son histoire depuis les temps néogènes. Cette histoire étant conditionnée par des fluctuations climatiques certaines, il était nécessaire d'envisager le climat de l'ensemble du Sahara. En considérant simplement le contexte propre à la région concernée par notre étude, on n'eut pas rendu compte de l'existence, en d'autres secteurs géographiques, de caractéristiques climatiques locales dont il est possible qu'elles aient affecté, dans le passé, le territoire que nous avons prospecté. Nous avons fait abstraction dans ce chapitre, de l'existence d'indices ou de coefficients (déterminés principalement par L. EMBERGER, J. DUBIEF, R. CAPOT-REY, H. GAUSSEN) permettant une représentation synthétique du climat et de l'aridité sahariens. Ces différentes formules, qui reposent sur des valeurs mesurables des facteurs climatiques actuels (température, pluviosité, évaporation, etc.), n'étant pas utilisables dans le cadre de recherches relatives à des époques passées dont on ne peut traduire numériquement les caractéristiques climatiques, il a paru sans intérêt de s'attarder à les envisager ici. Il y sera cependant fait allusion, en temps utile, au cours de l'étude qui suit.

CHAPITRE II

LE SAHARA DANS LE MONDE VEGETAL ACTUEL : POINT DE VUE PHYTOGEOGRAPHIQUE

Le désert saharien, comme nous venons de le voir, est le lieu de conditions climatiques extrêmement précaires. Elles conditionnent le développement et la croissance d'un type de végétation très particulier qu'il convient, maintenant, de bien situer et de définir, dans le contexte phytogéographique plus général de l'ensemble du monde végétal actuel.

I - Définition des termes principaux de la nomenclature utilisée par les phytogéographes.

Les notions d'"Empire floral", de "Région phytogéographique" et d'"Elément phytogéographique" seront ici précisées.

1) Notion d'"Empire floral".

Du point de vue systématique, les botanistes ont généralement admis depuis O. DRUDE (1890) que l'on pouvait reconnaître, dans l'ensemble de la flore terrestre, trois unités principales d'ordre supérieur ou "Empires" (Kingdom = Reich), liées à l'existence de zones thermiques bien définies à la surface du globe : une zone chaude intertropicale, séparant deux zones tempérées froides, boréale et australe. A chacune d'elles, caractérisée par la présence ou la dominance de nombreuses unités taxonomiques d'ordre élevé (Familles), correspond respectivement :

- un "Empire floral boréal" ou holarctique ou encore paléarctique (*Holarctis*), recouvrant l'Europe, la majeure partie de l'Asie et de l'Amérique du Nord ainsi que le nord de l'Afrique (limite approximative en Afrique : Nord du Tropique du Cancer).

- un "Empire floral paléotropical" ou paléotropical (*Paleotropis*), dont l'extension est également celle des régions tropicales d'Afrique et d'Amérique (un "Empire floral néotropical" pour certains auteurs, regrouperait les pays tropicaux du Nouveau Monde, tandis que ceux de l'Ancien Monde appartiendraient à un Empire Africano-Malgache).

- un "Empire floral austral" qui a lui-même donné lieu à des subdivisions.

Les problèmes sahariens qui nous préoccupent dans cette étude, concernent les Empires appelés "*Holarctis*" et "*Palaeotropis*", en ce sens que le peuplement végétal actuel du Sahara participe à la fois des influences de l'un et de l'autre empire.

2) Notion de "Région phytogéographique"

Au sein des grands empires floraux ont été définies des "Régions phytogéographiques". Il est facilement concevable qu'à l'échelle de l'empire floral et de son extension géographique interviennent des éléments divers, facteurs d'hétérogénéité et de diversification d'unités d'ordre inférieur (= Régions). Dans son étude des "Eléments et des groupes phytogéographiques auxiliaires de la flore palestinienne", A. EIG, en 1931, a très précisément exposé comment la distinction entre "Empire" et "Région" s'établit, principalement, sur des bases d'ordre écologique et floristique.

Pour cet auteur, du point de vue écologique, les "Régions phytogéographiques" sont caractérisées surtout par le contexte hydrothermique, tandis que le facteur thermique est essentiellement déterminant au niveau de l'"Empire floral". Quant à l'aspect floristique de cette distinction, il repose sur le fait historique de l'évolution indépendante, au sein de l'empire floral, à partir d'un héritage floristique commun reçu des époques géologiques antérieures, de "Régions" : cette évolution conduit à la mise en place en chacune d'elles, "d'endémiques d'ordre systématique supérieur et de nombreux climax particuliers", (*loc. cit.*, p. 9).

Afin de donner un aperçu général de la nomenclature utilisée par les botanistes, nous préciserons seulement la hiérarchie des unités subordonnées à la notion de Région, selon l'ordre adopté par les auteurs : Région, Domaine ou Province, Secteur, District, sachant que ces différents termes ont été eux-mêmes souvent subdivisés.

3) Notion d'"Elément phytogéographique".

De la notion de Région nous ne pouvons séparer celle d'"élément", mais en voulant définir ce terme nous nous heurtons à la divergence de pensée des auteurs.

Selon la conception de A. EIG (1931), la notion d'"élément" recouvre la flore et la végétation qui reflètent les conditions écologiques particulières à chaque Région phytogéographique. L'"élément" est l'expression floristique de la "Région". C'est ainsi qu'aux Régions méditerranéenne, saharo-sindienne, soudano-deccanienne dont il sera question ultérieurement, correspond un cortège floristique propre, un "élément" méditerranéen, saharo-sindien, soudano-deccanien. Cet "élément" par ailleurs peut "déborder de la Région-mère, sous forme d'enclaves ou d'irradiations dans les régions voisines" (Th. MONOD, 1938). C'est donc suivant une acception purement géographique que A. EIG entend définir ce terme; il précise bien lui-même cette orientation en adoptant, pour la région saharo-sindienne, des subdivisions également géographiques.

Toutefois de nombreux auteurs n'ont pas suivi A. EIG dans cette expression strictement floristique et phytosociologique du concept "élémentaire", dans son sens géographique. Le terme "élément" a été souvent utilisé dans le but de grouper des plantes ayant des affinités diverses, d'un tout autre ordre que celui sur lequel se fonde A. EIG.

Il semble que ce soit L. DIELS qui, le premier, dans son étude de la flore du Sahara central (1917) ait parlé d'"élément" au sens historique et non pas purement géographique. L. DIELS en effet, reconnaît, parmi les quelques 300 espèces récoltées au Sahara Central, un pourcentage appréciable de

plantes vivant dans des régions avoisinantes et il dégage déjà l'idée d'une diversité d'origine de ces plantes, notant dans cette flore centro-saharienne, la présence d'un "élément" méditerranéen, d'un "élément" soudanais. A cette façon de comprendre la notion d'élément, A. EIG s'est d'ailleurs fortement opposé (1931, p. 10, note infrapaginale).

C'est selon l'orientation de L. DIELS que P. QUEZEL dans son étude de "La végétation du Sahara, du Tchad à la Mauritanie" (1965 a) envisage les éléments phytogéographiques composant la flore saharienne actuelle. L'auteur, dans cet ouvrage, ainsi que dans sa "Contribution à l'étude de l'endémisme chez les Phanérogames sahariens" (1965 b), laisse apparaître clairement le sens historique qu'il donne à ces expressions : "essences de souche septentrionale", "essences de souche tropicale", "endémisme de souche européenne" etc.. qui sont autant de traductions du terme "élément". Comme nous le faisait remarquer M. GUINET (communication orale, 1969), cette façon très dynamique d'envisager la flore saharienne repose sur une connaissance précise des *taxa* entrant dans sa constitution.

Nous serons nous-même amenée à utiliser cette notion d'"élément" lorsqu'il s'agira d'établir une classification des essences représentées par leurs pollens dans nos analyses, problème qui sera délicat puisque la méthode de l'analyse pollinique ne permet pas la connaissance toujours précise des *taxa* présents et oblige à travailler souvent au niveau du genre ou de la famille. En temps voulu, nous préciserons les termes de la classification adoptée.

4) Mise en évidence de la complexité que recouvrent ces notions.

En fait, ce sont là, brièvement retracées, des définitions qui, pour les botanistes peuvent sembler un peu succinctes. Elles nous ont paru cependant nécessaires pour situer, dans la pensée des géologues, le contexte phytogéographique dans lequel s'inscrit la Région saharo-sindienne à laquelle appartient le territoire dont nous avons entrepris l'étude palynologique.

Afin de mettre en lumière la complexité des notions que nous venons de rappeler très schématiquement, nous préciserons quelques remarques suggérées

par la lecture de l'Introduction de Th. MONOD à la communication qu'il fit en 1957 sur "Les grandes divisions chorologiques de l'Afrique".

a) La notion d'"Empire floral" que nous avons définie comme le premier terme d'une hiérarchie dans la subdivision des territoires floristiques, s'est trouvée refusée par certains phytogéographes. Adoptée par Th. MONOD (1938), elle ne semble l'être que secondairement par H. GAUSSEN dans sa "Géographie des Plantes" (1954). Cependant nous la retrouvons généralement dans les systèmes proposés par nombreux auteurs qui ont traité des grandes divisions du continent africain, principalement de l'Afrique nord-équatoriale, systèmes dont Th. MONOD fait la synthèse en 1957. Ce dernier auteur s'exprime ainsi (p. 120), dans l'esquisse des subdivisions qu'il propose lui-même : "Toutefois, il n'apparaît pas sans intérêt de pouvoir tenir compte des affinités de certaines Régions entre elles. Comment reconnaître celles qui unissent par exemple les Régions méditerranéenne, saharo-sindienne, irano-touranienne, ou bien les deux Régions malgaches, sinon en acceptant un terme supérieur, "groupe de Régions", "Super-Régions" ou "Empires" ? Le mot importe peu, mais je pense que la notion qu'il implique se révélera difficilement remplaçable". Enfin P. OZENDA (1958), puis récemment P. QUEZEL (1965a) situent la Région saharo-sindienne par rapport aux Empires *Holarctis* et *Paleotropis*. C'est la raison pour laquelle nous avons préféré retenir la conception de O. DRUDE, qui ne reconnaît que 3 Empires floraux (dont les limites ont été rappelées au début de ce chapitre) qui se trouvent alors indiscutablement individualisés par la présence ou la dominance de familles entières. Cette position est aussi celle de C.G.G.J. VAN STEENIS (1962) qui démontre de façon irréfutable l'importance de ces 3 grandes zones phytogéographiques dépendant en premier lieu du facteur thermique (espèces microthermes, mésothermes, mégathermes, les 2 premières étant soit de la zone Nord-tempérée, soit au Sud de l'équateur).

Pour l'Afrique, A. CHEVALIER et L. EMBERGER (1937) avaient admis les mêmes 3 grands Empires.

Cette conception permet en outre, en accordant moins d'importance aux coupures longitudinales (Afrique - Asie), de mieux interpréter les

représentants saharo-sindiens et soudano-deccaniens qui s'étendent souvent très largement d'Ouest en Est (*Calotropis procera*, *Gymnosporia senegalensis*, etc.).

b) La définition de la notion de "Région", fondée sur les critères écologiques et floristiques que nous avons précisés ne doit pas masquer la multiplicité des facteurs entrant en jeu dans la réalisation de son expression : facteurs d'ordre sociologique, statistique, physionomique entre autres, sur lesquels ont insisté bien des auteurs dont J. TROCHAIN (1940 p. 67), F.S. BODENHEIMER parlant au nom des zoogéographes (1937 p. 3), Th. MONOD (1957, pp. 10-11).

II - LA REGION SAHARO-SINDIENNE

1) Situation géographique de la Région saharo-sindienne (*sensu lato*) dans le monde mesogéen.

C'est encore à A. EIG, que nous devons d'avoir rassemblé le premier les divers documents lui permettant de consacrer un chapitre de son ouvrage déjà cité (1931, ch. II), à un "historique sur la subdivision phytogéographique de la Méditerranée, de l'Orient et du Nord de l'Afrique", autrement dit du monde mésogéen. Les principaux auteurs auxquels il se réfère à cette époque sont A. GRISEBACH (1884), O. DRUDE (1890), A. ENGLER (1899, 1910), A. HAYEK également, pour son traité de phytogéographie (1926). De la confrontation des divisions adoptées par ces auteurs, il ressort l'individualisation de trois grandes régions phytogéographiques, centrées respectivement sur la Méditerranée, les régions steppiques d'Asie Centrale, la région désertique Saharo-arabique à laquelle est liée la partie méridionale de l'Asie. Ces régions dont la répartition est esquissée sur la figure 6 (p. 29) (d'après P. OZENDA, 1958, p.44) sont les suivantes :

- la Région méditerranéenne, recouvrant l'actuel bassin méditerranéen, occidental et oriental (jusqu'au Liban et à la Turquie). C'est une région chaude, bien arrosée, bénéficiant d'un climat peu contrasté.

- la Région irano-touranienne, apparaissant géographiquement comme un prolongement vers l'Est de la précédente, à travers l'Asie occidentale,

la Perse et une partie du Turkestan, ses limites orientales semblant encore assez imprécises. Du point de vue climatique, c'est une région à caractère aride : climat continental froid marqué par des écarts thermiques accentués (hivers froids, étés chauds pendant la journée seulement).

- la Région saharo-sindienne s'étendant sur 75° de longitude depuis l'Océan atlantique au Sud du Maroc, à travers toute l'Afrique et se prolongeant au-delà de la Mer Rouge en Asie méridionale (une partie de l'Arabie, le sud de la Perse) jusqu'à la vallée inférieure de l'Indus (région du Sind). Tout ce territoire aride est l'expression d'un climat continental chaud, à hivers tièdes, étés chauds et sans contraste thermique journalier.

La figure 6 (p. 29) fait apparaître schématiquement l'extension considérable de cette région saharo-sindienne désertique et steppique, dont la limite septentrionale se confond avec celle méridionale de la région méditerranéenne et qui, vers le Sud, marque le passage vers la région soudano-deccanienne et le monde tropical (A. EIG, p. 131).

En présence de cette distinction, au coeur du monde mésogéen, de trois régions peuplées, chacune, par une flore caractéristique, nous rappellerons cependant la commune origine de ces flores en un plus vaste ensemble floristique "mésogéen", largement répandu, au moins au début du Tertiaire, depuis l'actuelle Méditerranée jusqu'en Asie centrale (Himalaya).

Ceci conduit à insister sur le caractère mésogéen original de l'élément floristique propre à la région saharo-sindienne et à le situer par rapport à une flore typiquement africaine. Nous ne faisons là que mettre l'accent sur un problème secondaire à la structure du continent africain qui comporte cette double origine :

- un bouclier africain très anciennement lié au continent de Gondwana, ce qui permet de comprendre les affinités existant entre les flores de toutes les régions tropicales du monde. Les flores africaines qui se sont individualisées à partir du bouclier africain comptent comme élément majeur une flore typiquement tropicale, mais également un groupe formé de quelques familles ou

genres extrêmement xérophiles (*Randflora*), développé principalement dans les déserts sud-africains. Si nous insistons sur cet aspect composite de la flore "africaine", c'est pour rappeler que des représentants de l'un et de l'autre groupe, tropical ou au contraire xérophile, sont présents au Sahara.: ainsi en est-il par exemple des Zygophyllacées, de la tribu des Neuradées (Rosacées), des genres *Ifloga*, *Trichodesma*, appartenant à cette dernière flore sèche considérée comme un élément paléo-africain.

- un domaine septentrional appartenant au monde mésogéen, dont la flore a participé à son histoire au cours du Tertiaire.

Ainsi nous pouvons maintenant aborder le problème du Sahara, extension occidentale nord-africaine de la région saharo-sindienne.

2 - Le Sahara, désert nord-africain au sein de la Région saharo-sindienne : problème de son appartenance aux empires "Holarctis" et "Palaeotropis".

Nombreux essais de divisions phytogéographiques de l'Afrique nord-équatoriale, ou du continent africain plus généralement, ont été proposés depuis le début du siècle.

Il semble que l'un des premiers systèmes soit celui de A. ENGLER (1910) qui, pour avoir été un peu complexe, probablement, fit dire à plusieurs auteurs que celui-ci plaçait tout le Sahara dans l'empire paléotropical. Plus tard A. EIG (1931), puis Th. MONOD (1957) précisaient la pensée d'ENGLER qui, en effet, considérait comme paléotropicale la plus grande partie du Sahara, y compris le Sahara marocain, le sud Tunisien et l'Egypte, réservant toutefois, incontestablement, le Sahara algérien au monde méditerranéen (A. ENGLER, 1910, p. 1003 - A. EIG, 1931, pp. 36-37 - Th. MONOD, 1957, p. 36).

L. DIELS, en 1918, semble adopter le point de vue de A. ENGLER, mais à leur suite quelques auteurs s'expriment au contraire en faveur d'un Sahara très largement mésogéen (par exemple, D. TITS, 1925), sans omettre cependant de reconnaître, vers le Sud, l'importance prise par un élément floristique à caractère nettement tropical. Ainsi. R. MAIRE en 1926 appuie cette opinion

lorsqu'il divise la région saharo-sindienne en trois domaines dont le plus méridional est à peu près exclusivement peuplé par l'élément soudano-deccanien.

A. EIG lui-même, après avoir discuté l'opinion de A. ENGLER et L. DIELS, rejoint la pensée de R. MAIRE en la précisant, admettant l'appartenance du Sahara nord-tropical à l'empire holarctique et la probabilité "qu'au Sud, une partie des territoires encore inclus dans le Sahara, appartiennent déjà au point de vue de leur flore à l'Empire Paléotropical et doivent même être rattachés à la Région soudano-deccanienne". (*loc. cit.*, p. 37).

Sans entrer dans le détail de nombreuses autres subdivisions proposées pour l'Afrique en général, nous rappellerons seulement les noms de quelques auteurs parmi les plus importants phytogéographes africains. A. CHEVALIER (1932), J. HUTCHINSON (1946), J. LEBRUN (1947), G. ROBERTY (1949-1956) ont exprimé au sujet de la région saharo-sindienne des opinions très variées. Toutefois, dans son récent ouvrage "La végétation du Sahara, du Tchad à la Mauritanie", P. QUEZEL (1965) fait remarquer à quel point la difficulté de trouver une solution au problème des divisions phytogéographiques du Sahara, réside dans le fait que l'on a trop longtemps méconnu la composition des groupements végétaux sud-sahariens, du Sahara méridional notamment et que l'on a minimisé la part prise dans ces groupements par les éléments d'origine tropicale. P. QUEZEL insiste aussi sur le fait que les explorations botaniques ont révélé le rôle important que joue, dans la flore saharienne, l'élément désertique d'origine africaine (*Rand flora*) peuplant toutes les régions arides de l'Afrique. Cette double observation met ainsi l'accent sur la représentation dans la flore saharienne d'un élément incontestablement africain.

Ces faits, ici précisés par P. QUEZEL, ont déjà conduit Th. MONOD en 1938 à opposer, dans la région saharo-sindienne, deux domaines, l'un saharo-méditerranéen, l'autre saharo-africain. L'auteur conserve cette subdivision en 1944. A cette époque, sa pensée sur ce problème est liée aux travaux de B. ZOLOTAREWSKY et M. MURAT qui, en 1938 ("Divisions naturelles du Sahara et sa limite méridionale"), ont défini une zone Sahélo-saharienne,

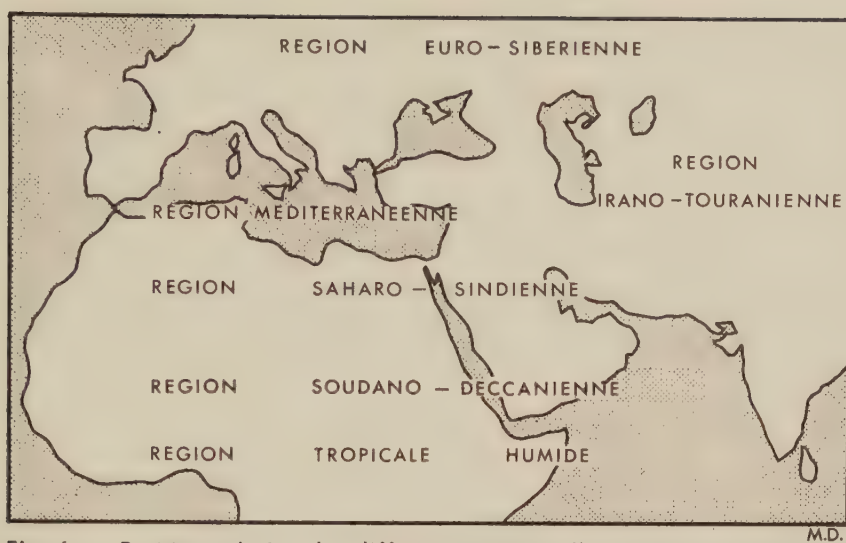


Fig. 6 Position relative des différentes régions floristiques du Sahara (d'après P. OZENDA, 1958)

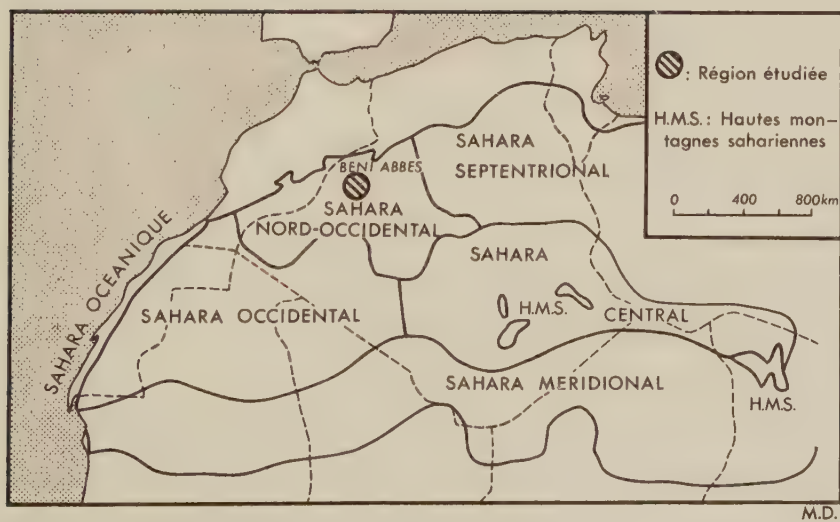


Fig. 7 Les grandes subdivisions phytogéographiques du Sahara (d'après le schéma de P. QUEZEL, 1965)

qui sera maintenue par M. MURAT dans son "Esquisse phytogéographique du Sahara occidental" (1944) et se trouve incluse d'ailleurs dans le domaine Saharo-africain de MONOD. L'ensemble du Sahara appartient encore à l'Empire "Holarctis" pour tous ces auteurs.

A la suite de Th. MONOD, J. TROCHAIN (1952) divise la région saharo-sindienne en un domaine saharo-méditerranéen et un domaine saharo-africain tout en conservant encore son unité, au sein de l'"Holarctis", à la région saharo-sindienne.

C'est en 1957 que Th. MONOD, dans l'ouvrage déjà cité, fait une synthèse critique des opinions émises sur cette question, tant par les Phytogéographes que par les Zoogéographes (H. HEIM DE BALZAC, 1936). Afin de préciser la subdivision qu'il a précédemment adoptée, il recherche des arguments d'ordre biologique (spectres biologiques), d'ordre climatique, ces derniers dans les travaux de H. VON WISSMANN (1938-1941) (isotherme du mois le plus froid ou isotherme annuel, limite absolue ou effective des gelées : *Frostgrenze*, limite subtropique-tropicale), arguments qui lui permettent de déterminer une ligne séparant deux Sahara : un Sahara extratropical "méditerranéen", en deçà d'une *Frostgrenze* effective et un Sahara tropical au-delà de celle-ci (1957, discussion p. 76-79 et tableau p. 84). De ce fait, la région saharo-sindienne se voit réduite par Th. MONOD au simple domaine saharo-méditerranéen (compre-
nant toute la partie septentrionale du Sahara, au nord du Sahara central, une partie du Sahara occidental et l'étage méditerranéen des hautes montagnes sahariennes), tandis que le Sahara africain est désormais détaché de la région saharo-sindienne et placé dans une région soudano-angolane (= soudano-deccanienne, A. EIG, 1931) appartenant à l'empire paléotropical. Cependant, Th. MONOD reconnaît le caractère un peu théorique d'une limite séparant ces deux Sahara. Comme l'a fait P. QUEZEL, nous reprendrons, dans le texte de Th. MONOD (*loc. cit.*, p. 79), les quelques lignes qui traduisent si explicitement la difficulté de trouver une solution satisfaisante au problème : "le fait que cette ligne peut sembler localement peu apparente, masquée par des convergences physiologiques ou estompée par des zones de transition, en *Mischgebiet* panaché ou en mosaïque d'îlots juxtaposés, n'enlève rien à son

importance mais ne constituera qu'un exemple de plus de cette impossibilité irritante, certes et pour un peu scandaleuse où nous nous trouvons si souvent, de préciser avec une acceptable rigueur les faits géographiques". Ceci est particulièrement vrai pour le territoire que constitue l'arrière pays, en quelque sorte, du secteur côtier purement océanique ou atlantique, floristiquement méditerranéen, s'étendant depuis l'embouchure du Drâ au Maroc, jusqu'à Port Etienne, approximativement, en Mauritanie.

Dans cet arrière-pays que l'on peut dire "sub-océanique" (QUEZEL, 1965a, p. 206), l'influence atlantique se manifeste encore dans la juxtaposition de deux flores, l'une saharo-méditerranéenne herbacée, l'autre saharo-africaine à caractère de savane. Alors Th. MONOD pose cette question, qui sera reprise par QUEZEL (1965a, p. 47), comme base de discussion avant de proposer sa propre classification : "devra-t-on adopter la notion d'une bande de territoire mixte à séparer des deux ensembles en cause ?".

Avant d'aborder la classification de P. QUEZEL, consacrée au Sahara, nous citerons encore l'ouvrage de G. TROUPIN (1966) "Etude phytocénologique du Parc National de l'Akagera et du Rwanda oriental". Bien que concernant une région lointaine par rapport au Sahara, il apporte à la suite de Th. MONOD, une subdivision phytogéographique de l'Afrique en général. Pour la région qui nous concerne, les subdivisions adoptées par G. TROUPIN ne diffèrent pas de celles de Th. MONOD. L'auteur situe, au Sud d'une région méditerranéenne (deux sous-régions : afro-méditerranéenne et saharo-sindienne groupées dans l'Empire holarctique), une Région saharo-sahélienne (deux domaines : saharo-africain et saharo-somalien, le domaine saharo-africain correspondant à celui de Th. MONOD). Cette région soudano-sahélienne recouvre les territoires de la région soudano-angolane de Th. MONOD.

L'opinion la plus récemment exprimée à propos des divisions phytogéographiques du Sahara est celle de P. QUEZEL (1965a), dont l'ouvrage a été déjà cité. Nous avons précédemment rappelé que le point de départ de la discussion de l'auteur, dans le chapitre qu'il a consacré à ce problème (pp. 46-48), est la notion de "zone mixte" évoquée par Th. MONOD. P. QUEZEL s'appuie sur la

connaissance qu'il possède des groupements végétaux peuplant les divers domaines qu'il distingue au Sahara et la différence existant, quant à leur signification bio-géographique, entre les éléments de flore qui composent ces groupements, suivant les domaines considérés. Ainsi par exemple, existe-t-il "des différences absolues entre la végétation des lits d'oueds et des rocaill-les du Sahara septentrional et du Sahara méridional" (p. 47). L'auteur fait aussi remarquer le caractère mixte du peuplement végétal au sommet des hautes montagnes sahariennes (Hoggar - Tibesti) qu'il considère comme un "complexe" participant à la fois de la Région méditerranéenne, de la Région saharo-sindienne et de la Région soudano-angolane.

Du point de vue climatique, le régime pluviométrique du Sahara confirme ce caractère mixte : méditerranéen dans la partie nord, le rythme saisonnier des pluies s'imprègne petit à petit d'une influence tropicale jusqu'à devenir exclusivement tropical vers le sud.

Nous ne pouvons mieux exprimer les conclusions de P. QUEZEL qu'en citant, partiellement du moins, ses propres termes (p. 49) : "... Le Sahara ne répond plus en effet, ni par son peuplement animal ou végétal, pas plus que par son régime climatique, à une entité strictement définie...", "Il convient donc de faire définitivement table rase de toute notion bioclimatique unitaire à propos du Sahara, qui ne constitue en réalité qu'une zone de contact et de combat entre le monde mésogéen et le monde africain". Pour P. QUEZEL cette "zone mixte" ("Complexe") séparant deux régions où prédominent, vers le Nord, les influences méditerranéennes et, vers le Sud, les influences tropicales, rend compte, bien plus précisément, de la réalité des faits biologiques ou climatiques observés, que la simple opposition entre deux Sahara, l'un mésogéen, l'autre africain. Les divisions phytogéographiques du Sahara, adoptées par P. QUEZEL (p. 49) sont figurées sur la carte 7 (p. 29) et schématisées de la façon suivante :

EMPIRE HOLARCTIQUE Sous-Empire Mésogéen	I - Région Méditerranéenne II - Région Saharo-sindienne 1 - Domaine du Sahara septentrional 2 - Domaine du Sahara nord-occidental 3 - Domaine du Sahara océanique
EMPIRE PALEOTROPICAL	III - Région du Complexe Méditerranéen, Saharo-sindien, Soudano-angolan 4 - Domaine des hautes montagnes sahariennes IV - Région du Complexe Saharo-sindien, Soudano-angolan... 5 - Domaine du Sahara central 6 - Domaine du Sahara occidental V - Région Soudano-Angolane Sous-région érémique africaine... 7 - Domaine du Sahara méridional ou Sahara-africain Sous-région sahélienne

III - Conclusion

Il a paru opportun de consacrer quelques pages à cet exposé historique de la démarche des principaux auteurs en quête d'une solution qui soit le moins possible éloignée de la réalité des faits observés. A cette difficulté d'approcher une solution relativement satisfaisante, dans l'état actuel des connaissances que l'on a de la flore et de la végétation du Sahara, répond bien la notion de "Complexe" pressentie par Th. MONOD, puis adoptée par P. QUEZEL.

Cette notion introduit naturellement l'étude palynologique qui doit suivre, relative à un territoire appartenant au Domaine du Sahara-nord-occidental, à caractère mésogéen dominant actuellement, mais dont la végétation fut très probablement marquée, au cours des temps néogènes et peut être au début du Quaternaire, par une influence africaine que caractérise une fraction de la flore pollinique déterminée. (1)

(1) Cette partie du présent mémoire étant déjà ronéotypée, nous prenons connaissance de la communication présentée par J.L. TROCHAIN en 1969, publiée en 1970 aux Compte-Rendu de la Société de Biogéographie, sur le thème : "les territoires phytogéographiques de l'Afrique noire francophone d'après la trilogie: climat, flore et végétation".

CHAPITRE III

FLORE ET VEGETATION SAHARIENNES ACTUELLES : GENERALITES .

GROUPEMENTS VEGETAUX DEFINIS DANS LA REGION DE BENI-ABBES .

Il est évident que c'est, en premier lieu, le paysage végétal actuel de la région étudiée dont nous voulons présenter la physionomie. Celle-ci toutefois ne peut être comprise, semble-t-il, hors du cadre plus vaste des connaissances que l'on possède de la flore saharienne en général. Cette dernière est en effet nettement caractérisée, dans sa composition même ainsi que par l'origine des *taxa* qu'elle rassemble, comme cela a été entrevu dans le précédent chapitre. Les principaux éléments de bibliographie relatifs à la flore saharienne seront d'abord brièvement rappelés.

A - ELEMENTS DE BIBLIOGRAPHIE

Nous ne saurions retracer ici un historique de l'exploration floristique du Sahara. Longue, en effet, serait la liste que l'on pourrait dresser de tous ceux qui, depuis un siècle et demi environ et à titre divers, botanistes ou plus simplement amateurs, méharistes, médecins et officiers français, se sont attachés à faire avancer la prospection et la connaissance de cette flore, pauvre relativement à l'immensité du désert qu'elle colonise, mais dont chaque élément cependant est lié le plus souvent à des conditions biologiques particulières et représente, pour les populations nomades, une importance fréquemment vitale. Les divers domaines sahariens, septentrional, occidental, central, méridional, ont été explorés pour la première fois, à des époques plus ou moins anciennes d'ailleurs, ces prospections donnant lieu à des inventaires floristiques, à des collections, à des études physionomiques et à l'individualisation de groupements végétaux, à des publications enfin

dont P. QUEZEL traduit, en quelques pages de son récent ouvrage, tout le remarquable intérêt (1965a, pp. 1-6).

Nous nous limiterons alors à rappeler les noms des principaux auteurs, botanistes et phytogéographes, dont les travaux ont servi de documents de base à la connaissance que nous devons acquérir de la flore actuelle de la région que concerne plus particulièrement notre étude palynologique, mais aussi des autres domaines sahariens auxquels elle est liée par un passé floristique commun et par certaines convergences physiologiques entre les types de paysages végétaux que l'on y rencontre.

Pour le Sahara occidental au sens large, nous citerons les diverses "Contributions à l'étude de la Flore du Sahara occidental" publiées par R. MAIRE (1922-1936), la publication de R. MAIRE et E. WILCZEK (1935) puis, sous le même titre que celle de R. MAIRE, la "Contribution à l'étude de la flore du Sahara occidental" de Th. MONOD (1939), intégrant ses "Notes préliminaires sur le Sahara occidental et ses confins sahéliens (1938). Dans le cadre d'une prospection anti-acridienne, l'étude de M. MURAT (1944) est suivie des commentaires de Th. MONOD (1944) et de Ch. RUNGS et Ch. SAUVAGE (1944). Egalement éloignés du territoire où se situe notre étude, le Zemmour et l'Adrar ont donné lieu aux récoltes et inventaires de Ch. SAUVAGE (1947-1949), de Th. MONOD (1952-1954) et de A. NAEGELE (1958).

Concernant plus directement la région que nous avons nous-même étudiée, le chapitre botanique d'un ouvrage plus général traitant des "Hamadas sud-marocaines" est dû à Ph. GUINET et Ch. SAUVAGE (1954), mais nous citerons principalement la carte de la végétation de Béni-Abbès, dressée au 1/200.000 par Ph. GUINET (1954) et sa "Notice détaillée" (1958). Cette carte couvre la quasi-totalité du secteur où se situe notre étude palynologique et donne ainsi la connaissance précise de sa végétation actuelle. A côté de ces documents, rappelons enfin, comme instrument de travail permanent, la "Flore du Sahara septentrional et central" de P. OZENDA (1958) et la "Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales" de

P. QUEZEL et S. SANTA (1962). Egalement, la "Petite flore des régions arides du Maroc occidental" de R. NEGRE (1962) a fourni un certain nombre de renseignements botaniques.

Nous n'omettrons pas les documents plus particulièrement phytosociologiques apportés par M. GUINOCHET et P. QUEZEL (1951), relatifs à la végétation en bordure du Grand Erg occidental, et par P. QUEZEL et P. SIMONNEAU (1960) à propos des groupements halophiles au Sahara occidental.

Hors du domaine précédent pour lequel nous souhaitions donner, avec une certaine précision, ces quelques références bibliographiques, parmi les plus importantes, nous ne citerons pour les domaines voisins que les noms des auteurs consultés les plus récents, dans leurs principales publications. Quant au Sahara septentrional pour les régions du Sud-tunisien, du Sud-marocain et du Sahara septentrional algérien, ce sont surtout les noms de Ph. BRUNEAU DE MIRE (1949), M. GUINOCHET (1951), G. LEMEE (1952, 1953), H.N. LE HOUEROU (1962), A. MONJAUZE, L. FAUREL et G. SCHOTTER (1955) qu'il faut rappeler. Quant au Sahara central, la très importante étude de R. MAIRE (1933-1940) précède celles de P. QUEZEL (1954, 1956-1957) et de Cl. LEREDDE (1957).

Enfin les principaux noms auxquels doit être attachée la connaissance de la flore du Sahara méridional (Tibesti, Aïr, Ennedi) sont ceux de R. MAIRE (1936), R. MAIRE et Th. MONOD (1950), P. QUEZEL (1958, 1959), Ph. BRUNEAU DE MIRE et P. QUEZEL (1959), H. GILLET (1967).

Nous terminerons cet inventaire bibliographique par l'ouvrage déjà plusieurs fois cité de P. QUEZEL (1965a) dans lequel nous trouvons principalement une synthèse des connaissances acquises de la végétation pour l'ensemble du Sahara.

La seconde partie de ce chapitre est plus particulièrement destinée à caractériser la flore et la végétation sahariennes en général : flore cryptogamique et flore phanérogamique (caractères et bref aperçu de sa composition) en nous appuyant sur les données de P. OZENDA (1958) et

P. QUEZEL (1965a) principalement. A sa suite sera envisagée la végétation de la région de Béni-Abbès, dont Ph. GUINET a esquissé le paysage qui introduira directement notre étude palynologique.

B - FLORE ET VEGETATION SAHARIENNES : CARACTERES, COMPOSITION.

I - LA FLORE CRYPTOGRAMIQUE.

P. OZENDA et P. QUEZEL ont accusé la pauvreté de cette flore dans l'ensemble du Sahara, en comparaison de sa représentation en Europe, par exemple, où le nombre des cryptogames est supérieur à celui des Phanérogames. Les relevés de R. MAIRE (1933-1940) pour le Sahara central et de R. MAIRE et Th. MONOD (1950) pour le Tibesti notent respectivement 12 et 18% d'espèces cryptogamiques par rapport à l'ensemble des végétaux vasculaires. Très brièvement seulement nous rappellerons que, dans l'état actuel des connaissances acquises sur ce point, le plus grand nombre d'éléments de cette flore reste localisé au Sahara central principalement, sur les sommets des hautes montagnes sahariennes. Là, en effet, ont été reconnues la plupart des espèces d'Algues (Cyanophycées, Chlorophycées), de Lichens, de Bryophytes (Mousses, Hépatiques), de Champignons. Les précédents auteurs ont noté pour tous ces éléments un degré élevé d'endémisme qui leur confère une importance biologique incontestable. De la partie septentrionale du Sahara (au sens large, par opposition au Sahara central et méridional), ces végétaux ne sont pas absents mais y restent rares : algues et mousses y sont parfois présents, dans les points d'eau. Les lichens occupent quelques stations qui se trouvent en marge du désert, mais on les sait absents de la région de Béni-Abbès notamment. Parmi les champignons, un petit nombre d'espèces apparaissent dans les dunes à la suite des pluies et, à la même époque, la récolte des *Terfezia* (Terfes = truffes des sables) est familière au Saharien qui sait reconnaître, dans les sols des "dayas", les points où ce champignon parasite les racines de quelque pied d'hélianthème dont les rameaux aériens ont eux-mêmes disparu.

Parmi les Cryptogames vasculaires enfin, deux espèces sont parfois bien représentées dans les lieux humides de tout le Sahara (*Adiantum capillus-veneris*, *Equisetum ramosissimum*), mais une flore remarquable de fougères est connue au sommet de l'Emi Koussi (Tibesti), dans des conditions locales évidemment privilégiées : gorges, "gueltas", fumerolles. La présence de cette flore relictuelle, l'endémisme de deux de ses espèces (l'une, affine d'une espèce des Alpes méridionales, l'autre, affine d'une espèce d'Abyssinie) signifient, pour P. QUEZEL, l'ancienneté d'un peuplement probablement abondant des sommets des montagnes sahariennes par ces espèces qui auraient trouvé refuge en des points privilégiés, lors de l'évolution du climat vers les conditions actuelles.

II - LA FLORE PHANEROGAMIQUE.

Nous envisagerons les caractères qui font de cette flore une flore "pauvre", les types biologiques qu'elle réunit; nous rappellerons les éléments phytogéographiques qui interviennent dans sa composition, dont nous précisons enfin les grandes lignes systématiques.

1 - Caractères de la flore phanérogamique

La flore phanérogamique saharienne est en général une flore "pauvre" (1) dont les caractères sont ceux qu'avait donnés A. EIG, en 1931, pour définir la flore de la région saharo-sindienne.

a) Pour le territoire s'étendant de l'Océan atlantique jusqu'à la Mer Rouge, P. OZENDA et P. QUEZEL admettent que l'on peut évaluer à 1.200 environ le nombre des espèces sahariennes. Des relevés ont été effectués dans divers domaines sahariens, fixant approximativement le nombre d'espèces pré-

(1) Cette flore est marquée d'un endémisme assez élevé au niveau spécifique, mais réduit au niveau des genres, représentés pour beaucoup, dans les régions méditerranéennes et tropicales.

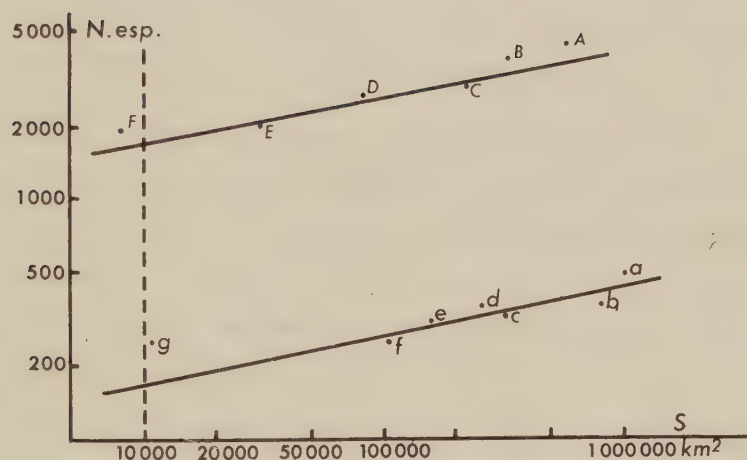


Fig. 8 - Relation entre le nombre d'espèces vasculaires et la superficie du territoire considéré, pour divers pays européens ou méditerranéens (partie supérieure de la figure) et sahariens (partie inférieure) : A, France ; B, Italie ; C, Algérie non désertique ; D, Portugal ; E, Suisse ; F, Corse - a, Sahara central ; b, Mauritanie ; c, Sahara espagnol ; d, Tibesti ; e, Hoggar ; f, Hamadas sud-marocaines ; g, région de Béni-Abbès.

On voit qu'à surface égale, le Sahara est environ 10 fois plus pauvre en plantes vasculaires que les régions méditerranéennes ou holarctiques. Les richesses aréales lues sur le graphique sont respectivement 160 et 1700 espèces environ pour un territoire théorique de 10.000 km carrés.

Les valeurs portées en abscisse sont exprimées selon l'échelle logarithmique.

(figure empruntée à P. OZENDA, 1958 et sur laquelle a été porté le point "g" correspondant aux données apportées par Ph. GUINET pour la région envisagée, 1958)

sentes en des secteurs de superficie déterminée. P. OZENDA rappelle la notion de "richesse aréale" exprimant le nombre d'espèces présentes sur des unités de surface comparables : 10.000 km² par exemple. Il nous est apparu qu'il n'était pas sans intérêt de donner ici un aperçu des résultats de ces relevés en reproduisant la figuration graphique qu'en a faite P. OZENDA (p. 40). Cette figure, ici empruntée (figure 8), porte les données numériques recueillies au Sahara, en comparaison des valeurs caractérisant un certain nombre de pays européens ou, plus particulièrement, méditerranéens.

Pour le Sahara nord-occidental, nous possédons peu de résultats : P. OZENDA ne rapporte que les valeurs obtenues pour les Hamadas sud-marocaines (Ph. GUINET, Ch. SAUVAGE, 1954). Nous avons nous-même introduit dans sa propre représentation graphique les données de Ph. GUINET dans la "notice détaillée de la carte de la végétation de Béni-Abbès" (1958), ces résultats nous intéressant tout particulièrement.

L'auteur précise (p. 93) avoir retenu 262 espèces après élimination des espèces adventices ou non spontanées et nous avons évalué la surface de la région cartographiée à 11.000 km² environ. Placé sur la figure 8, le point correspondant à ces coordonnées est voisin de l'axe vertical selon lequel peut varier la richesse aréale pour un territoire de 10.000 km², mais il s'éloigne assez considérablement de la valeur de la richesse aréale au Sahara, valeur qui s'abaisse jusqu'à 150 espèces; on remarque finalement que le nombre des espèces relevées par Ph. GUINET pour une surface de 11.000 km², centrée sur Béni-Abbès, est approximativement le même que celui noté pour un territoire dix fois plus étendu des Hamadas sud-marocaines. C'est pourquoi, en raison de la superficie du territoire cartographié par Ph. GUINET, comparativement aux plus vastes surfaces explorées dans les autres domaines, il ne faut donner à cette valeur, propre à la région de Béni-Abbès, une signification absolue. On doit garder seul présent à l'esprit le fait important qu'elle exprime la richesse, particulièrement accentuée, d'un territoire privilégié du point de vue de sa végétation, celle-ci étant liée à des conditions de milieu également privilégiées, quoiqu'en territoire saharien.

b) La flore saharienne est inégalement répartie, aussi la végétation paraît-elle souvent très pauvre en individus, elle peut être à peu près nulle sur de vastes espaces hyperarides appelés "tanezrouft" qui, sans être tout à fait abiotiques ne permettent la survie que d'un très petit nombre d'espèces. Les récits d'explorations botaniques en témoignent : R. MAIRE, en 1929, écrivait : "il nous est arrivé de faire plus de 100 km sans rencontrer plus de deux individus végétaux". Toutefois, hormis ces espaces en apparence dépourvus de vie végétale, on oppose facilement la végétation "diffuse" de toute la partie septentrionale du Sahara (Sahara nord-occidental compris), végétation dont la densité est variable suivant que l'on parcourt les "dayas", les regs hamadiens ou les dunes, au type de végétation "contractée" colonisant principalement les lits d'oueds ou les ravins dans les régions basses du Sahara Central.

c) Le cycle de développement d'une partie des espèces de la flore saharienne est conditionné par l'irrégularité des précipitations.

Tout "Saharien" qui a fréquemment et longuement cheminé à travers le désert aime exprimer le souvenir de son émerveillement lorsqu'après de longs mois d'aridité, quelque chute de pluie, parfois maigre et locale, provoque en peu de semaines le réveil d'une végétation herbacée qui couvre de ses fleurs les sols qui paraissaient les plus désolés. Les Arabes nomment "acheb" cette végétation éphémère dont le cycle de développement, déclenché par les précipitations, s'accomplit en un temps très court avant que les graines n'entrent dans l'état de repos dans lequel elles demeureront tant que durera la sécheresse. Ainsi, dans le temps même, le désert peut changer de physionomie, devenir accueillant aux troupeaux en leur offrant cet "acheb" comme un pâturage inespéré.

d) Les paysages végétaux sont souvent monotones et cette monotonie est liée à l'absence de sols évolués due à l'aridité. Le nombre relativement réduit des groupements végétaux est conditionné par la pauvreté des possibilités de substrats : formations dunaires, hamadas, regs graveleux ou sablonneux, pentes et falaises rocheuses, oueds secs ou fonctionnels, sont les

principaux types de milieux qu'offre la nature saharienne aux groupements végétaux qui leur sont liés de façon assez stricte. Nous décrirons ces groupements en étudiant la végétation actuelle de la région de Béni-Abbès.

2 - Types biologiques.

Selon le système de G. RAUNKIAER (1905), les plantes en général sont classées en un petit nombre de catégories, suivant leur mode de protection des bourgeons végétatifs au cours de la saison défavorable.

Ce système est couramment adopté pour la flore saharienne qui doit résister aux conditions particulièrement éprouvantes de longues périodes d'aridité. Les différents types biologiques que l'on y rencontre sont ainsi définis :

- Phanérophytes (Ph. et N. Ph.) : plantes dont les bourgeons sont à plus de 25 cm. du sol; ce sont les arbres, arbustes, buissons, parmi lesquels on distingue les Nanophanérophytes (rameaux de longueur comprise entre 25 cm et 2 m.).

- Chamaephytes (Ch.) : plantes dont les bourgeons sont situés à moins de 25 cm. du sol.

- Hémicryptophytes (H.) : plantes dont les bourgeons se trouvent au ras du sol.

Ces trois groupes rassemblent les végétaux permanents, les plantes vivaces, que l'on oppose au groupe des Thérophytes, plantes annuelles qui constituent cet "acheb" dont les éléments survivent, en saison sèche, à l'état de graine. A côté des Thérophytes (Th.) on peut placer quelques plantes peu nombreuses appelées Géophytes (G.), dont subsistent seuls, en saison défavorable, les organes sous-terrains : bulbe ou rhizome. Au sujet des plantes vivaces nous nous limiterons à rappeler que, outre des mécanismes physiologiques que l'on connaît mal encore (P. OZENDA), elles présentent un certain nombre de caractères morphologiques et anatomiques leur permettant de se défendre de la sécheresse, en augmentant considérablement leur possibilité d'absorption grâce au développement énorme de leur système racinaire

(10 mètres, par exemple, au pied d'un buisson d'.*Ephedra*), en même temps qu'elles limitent les phénomènes de transpiration, notamment par une réduction des surfaces d'évaporation : beaucoup de plantes sahariennes ne portent que de très petites feuilles (*Ephedra*, genêts, certaines Chénopodiacées), d'autres sont aphylls (le genre *Calligonum*, arbustif présente des rameaux articulés, verts, assurant l'assimilation puis se désarticulant une fois venue la saison sèche).

L'établissement des pourcentages des différents types biologiques représentés dans un groupement végétal donné, relevé en un point géographiquement précis, constitue le "spectre biologique". Pour chacune des associations ou groupements qu'il a reconnus dans l'ensemble du Sahara, P. QUEZEL a calculé le spectre biologique (qu'il nomme "spectre éthologique") caractéristique. L'établissement des spectres permet de comparer entre elles les associations au sein d'un même domaine saharien ou appartenant à des domaines différents.

Afin d'explicitier davantage l'intérêt de cette méthode, comparons ici deux spectres que nous avons choisis, volontairement, très différents, parmi l'ensemble des 7 spectres correspondant aux 7 associations reconnues par P. QUEZEL pour le Sahara nord-occidental (Tableau I).

- Association "A" localisée dans les lits d'oueds sablonneux :
plantes caractéristiques : *Acacia raddiana* (Mimosacées)
Panicum turgidum (Graminée)
- Association "B" vivant sur le rebord rocailleux des Hamadas :
plantes caractéristiques : *Eremophyton chevallieri*
(Crucifère)
Tourneuxia variifolia
(Composée)

	Nombre d'espèces	Ph	Ch	H	G	Th
"A"	71	9,8%	45,1%	18,3%	-	26,8%
"B"	17	-	-	-	5,9%	94,1%

Tableau I. Comparaison de deux spectres biologiques, caractérisant deux des associations végétales, très différentes, parmi celles définies par P. QUEZEL pour le Sahara nord-occidental (1965, p. 152, tableau 138). (En "A", association de lit d'oued sablonneux et en "B", association localisée sur le rebord rocailleux de la Hamada, est indiquée, exprimée en pourcentages, la représentation respective des Phanérophytes, Chamaephytes, Hémicryptophytes, Géophytes et Thérophytes).

Ce sont deux exemples extrêmes pour le Sahara nord-occidental et nous comparons deux associations très inégalement pauvres en espèces. L'intérêt de cette comparaison est de faire apparaître le caractère presque exclusivement thérophytique de l'association B, établie sur un substrat extrêmement aride, l'apparition de la flore étant conditionnée par les chutes de pluie. L'association A, par contre, est plus favorisée du point de vue des réserves hydriques du sol. Phanérophytes et Nanophanérophytes sont assez bien représentés. La prédominance des Chamaéphytes reflète celle des espèces vivaces. Les seuls spectres biologiques donnent un aperçu de la physionomie des groupements qu'ils caractérisent.

3 - Eléments phytogéographiques

Au chapitre précédent nous rappelions l'origine double du peuplement végétal du continent africain, origine mésogéenne, origine africaine. La flore saharienne, nous l'avons vu également, est marquée de ces deux influences, elle se compose donc pour l'ensemble du Sahara :

- de *taxa* de souche mésogéenne
- de *taxa* de souche africaine

a) Les taxa de souche mésogéenne ;

- certains, en très petit nombre, sont d'origine européenne, présents à peu près exclusivement dans la flore hygrophile. Quelques endémiques des zones altitudinales du Tibesti ont probablement cette même origine.
- Les taxa méditerranéens sont présents au Sahara septentrional, au Sahara océanique et nord-occidental et dans la flore des hautes montagnes sahariennes. Ils sont à l'origine d'un nombre appréciable d'endémiques, dans cette dernière région notamment.
- Les taxa saharo-sindiens sont prédominants au Sahara septentrional (70% de la flore) et le restent au Sahara nord-occidental et océanique. Leur importance diminue considérablement au Sahara occidental, puis au Sahara central, pour devenir presque nulle au Sahara méridional et dans les hautes montagnes sahariennes à caractère méditerranéen accentué. Les taxa saharo-sindiens ont donné naissance à 60 espèces endémiques.

b) Les taxa de souche africaine ;

- Les taxa sahéliens sont représentés dans l'ensemble du Sahara sauf au Sahara septentrional. Ils dominent la flore du Sahara méridional. On ne rencontre pas, au Sahara, d'espèces endémiques différenciées à partir de taxa sahéliens.
- Les taxa africains orientaux et oro-africains interviennent seulement dans la flore des montagnes centro-sahariennes.
- Les éléments de la Randflora sont nombreux dans la flore saharienne : rappelons qu'il s'agit d'une flore archaïque relictuelle, xérophile, ayant très largement peuplé l'Afrique à une époque ancienne et encore très répandue, actuellement, dans les régions désertiques d'Afrique du Sud.

De la même façon que l'on a établi des spectres biologiques, on peut dresser, pour chaque association ou groupement végétal, un spectre biogéographique exprimant la représentation, en pourcentages, des différents groupes de *taxa* dans l'association. C'est ainsi que la comparaison de spectres pour des associations du Sahara septentrional, nord-occidental, central et méridional manifeste un appauvrissement en *taxa* méditerranéens d'abord, saharo-sindiens ensuite, au profit d'un enrichissement progressif en espèces tropicales qui sont dominantes dans les groupements végétaux du Sahara méridional.

4 - Composition systématique : aperçu général.

C'est plus précisément à P. OZENDA (*loc. cit.*) que nous emprunterons les données de ce paragraphe en introduisant parallèlement les renseignements que nous avons relevés dans la notice de la carte de la végétation de la région de Béni-Abbès (Ph. GUINET, *loc. cit.*).

a) Dans l'ensemble de la flore saharienne, quel que soit le domaine considéré, P. OZENDA note la prédominance de trois familles :

- Graminées
- Légumineuses (Mimosacées + Césalpiniacées + Papilionacées)
- Composées

groupant près de 40% du nombre total des espèces et représentant ainsi plus du tiers de la flore de chaque domaine saharien. Nous les retrouvons, selon une importance comparable, dans la flore inventoriée par Ph. GUINET à Béni-Abbès, pour laquelle nous n'avancerons, au niveau des genres, que des valeurs approximatives en raison des quelques plantes adventices ou non spontanées qui n'en auraient pas été éliminées.

Les familles des Graminées et des Composées seraient représentées, chacune, par une trentaine de genres et, parmi les Légumineuses, 12 genres appartiennent aux Papilionacées, 1 seul aux Mimosacées (*Acacia raddiana*),

les Césalpiniciacées étant absentes. A propos des Légumineuses d'ailleurs, il n'est pas sans intérêt de noter que, du Nord au Sud du Sahara, les proportions relatives des sous-familles varient, Mimosacées et Césalpiniciacées devenant importantes à l'approche des régions méridionales soumises à l'influence tropicale qui se traduit, chez les Papilionacées, par l'apparition des genres *Indigofera* et *Tephrosia*.

b) P. OZENDA attire également l'attention sur la présence, au Sahara, de trois familles dont le développement n'est pas également étendu à tous les domaines sahariens, comme c'était le cas précédemment.

- la famille des Chénopodiacees, à caractère cosmopolite, compte en Afrique méditerranéenne, un lot important de représentants, qui s'appauvrit en milieu saharien. Toutefois au Sahara nord-occidental, dans la région de Béni-Abbès notamment, cette famille compte encore 14 genres, parmi lesquels *Salsola* et *Suaeda* sont représentés par plusieurs espèces, les genres *Nucularia* et *Fredolia* (= *Anabasis*) étant endémiques.

- la famille des Crucifères, également bien représentée en régions holarctiques, s'accroît énormément en milieu désertique (18 genres dans la flore de Béni-Abbès), mais elle est marquée d'un brusque appauvrissement dès le Sahara central, puis disparaît quasiment au contact des influences tropicales.

- la famille des Zygophyllacées enfin est la seule dont le plus grand nombre des espèces soit typiquement saharien : peu de représentants en Europe (*Peganum harmala*, *Tribulus terrester*), peu également en Afrique sahélienne (*Balanites aegyptiaca*). Le caractère désertique de cette famille est lié surtout aux genres *Fagonia* (8 espèces pour la région de Béni-Abbès) et *Zygophyllum* (2 espèces pour la même région). Pour l'ensemble du Sahara, P. OZENDA compte 7 genres et 30 espèces parmi lesquelles un tiers sont endémiques.

c) Deux remarques enfin à propos des Caryophyllacées et des Rosacées :

- la famille des Caryophyllacées, à affinités méditerranéennes, est très appauvrie au Sahara (9 genres).

- la présence d'un seul représentant de la famille des Rosacées est à noter : *Neurada procumbens* est une espèce psammophile, typiquement désertique, mais aussi africaine de longue date de par son appartenance à la *Rand flora*.

Il a paru intéressant de situer ici les remarques de P. OZENDA que ne rapportent pas en général l'ensemble des ouvrages traitant, en tout ou en partie, de la flore saharienne. Les lignées méditerranéennes, dont est issue en grande partie la flore saharienne, sont très appauvries en milieu désertique. L'endémisme spécifique s'y est remarquablement établi, touchant le quart de la flore, mais aucune famille par contre n'est strictement saharienne, même celle des Zygophyllacées.

D'une façon générale, au Sahara, le plus grand nombre des familles, mises à part celles dont nous venons de parler, ne sont représentées que par un petit nombre de genres et à chaque genre ne correspond qu'un petit nombre d'espèces.

Comme le rappelle Ph. GUINET (1958, pp. 26 et 91), notons enfin, pour la région de Béni-Abbès, la rareté et la localisation, en des stations tout à fait privilégiées, de représentants à affinités tropicales des familles suivantes : Ménispermacées, Célastracées, Capparidacées, Asclépiadacées.

Pour compléter cette brève analyse de la composition actuelle de la flore saharienne, nous reproduirons, en l'élargissant, le tableau dans lequel P. OZENDA a rassemblé les valeurs correspondant au classement générique qu'ont étudié, selon la méthode de D. SZYMKIEWICZ (1937), Ph. GUINET et Ch. SAUVAGE (1954), pour le Sud marocain et le Sahara central, R. CORTI (1942) pour le Sahara septentrional (Fezzan) et Ph. GUINET (1958) pour la végétation de la région de Béni-Abbès (Tableau II).

Ce dernier mentionne, en ordre décroissant autant que possible, les genres ayant au moins cinq représentants, dans l'un quelconque des domaines sahariens.

	Sahara septentrional	Sahara occidental nord-occidental		Sahara Central	Sahara méridional
		Hamadas sud-marocaines	Région de Béni-Abbès		
1 { <i>Astragalus</i>	8	8	8	12	2
<i>Fagonia</i>	8	8	8	8	2
<i>Lananaea</i>	7	5 ou 6	5	7	4
<i>Reseda</i>	6	2	4	5	2
<i>Salsola</i>	6	5	5	4	2
<i>Plantago</i>	6	4	4	3	2
<i>Tamarix</i>	5	5	3	8	2
<i>Eragrostis</i>	3	3	0	5	6
2 { <i>Acacia</i>	1	1	1	4	6
<i>Cleome</i>	1	1	2	1	6
<i>Hibiscus</i>	0	0	0	0	6
<i>Tephrosia</i>	0	0	0	1	7
<i>Cyperus</i>	2	2	3	3	8
<i>Indigofera</i>	0	0	0	0	11
<i>Euphorbia</i>	5	5	6	7	5
<i>Aristida</i>	8	8	7	14	16

Tableau II. Application de la méthode du "classement générique", en différentes régions du Sahara : sont classés, dans l'ordre décroissant du nombre de leurs représentants, les genres comptant au moins cinq espèces, dans l'un quelconque des domaines sahariens.

Ce tableau met en évidence un premier groupe de genres ayant leur représentation maximum dans la partie septentrionale du Sahara et jusqu'au Sahara central, puis un second groupe à affinités tropicales, pauvre au

contraire au Nord du Sahara et qui s'épanouit au Sahara méridional. Les genres *Euphorbia* et *Aristida* sont les deux seuls qui restent bien représentés dans l'ensemble du Sahara bien que le second ait une extension nettement plus large, au voisinage des régions tropicales. Dans la mesure où la présence de quelques-uns de ces genres serait identifiable dans nos analyses polliniques, il est intéressant de connaître l'importance de leur représentation dans la végétation actuelle.

Après avoir tracé un aperçu des caractères principaux de la flore du Sahara, nous aborderons la partie de cet exposé qui introduira directement notre analyse de la végétation passée, en présentant les divers types d'associations floristiques actuelles qui donnent, à la région de Béni-Abbès et à ses environs, la physionomie que lui connaît tout "Saharien". Nous nous limiterons en effet ici à la végétation de la région étudiée du point de vue palynologique, nous réservant seulement en fin de chapitre quelques incursions, qui s'avèreront nécessaires, dans les territoires voisins. Ce sont, bien sûr, la "Carte de la végétation de Béni-Abbès" et sa "Notice détaillée" (Ph. GUINET 1954 et 1958) qui fourniront les documents qui vont suivre, compte tenu également des données contenues dans "la Flore du Sahara" de P. QUEZEL (1965) et de celles fournies par P. OZENDA (1958). On a précédemment évalué à 11.000 km² approximativement le territoire cartographié par Ph. GUINET, territoire qui s'étend de part et d'autre du 30° parallèle entre 29°30' et 30°30' de latitude et, à l'Ouest du méridien international, entre 1°40' et 2°45' de longitude. A une vingtaine de km près, il est centré sur l'oasis de Béni-Abbès, située un peu au Nord du 30° parallèle. Les limites du secteur étudié par nous-même s'éloignent quelque peu vers le Sud-Est (région de Kerzaz) et vers l'Ouest (Hassi Manda, Erg er Raoui) de celles du territoire cartographié, ce qui importe peu puisque Ph. GUINET précise, en commentant sa carte, que la végétation qu'il a décrite s'étend vers le Nord jusqu'au Bassin de Colomb Béchar et vers le Sud jusqu'au Fom el Kheneg (cf. figure 2 de l'"Introduction" de ce mémoire).

C - FLORE ET VEGETATION DE LA REGION DE BENI-ABBES (1)

Dans l'introduction de ce chapitre, nous avons évoqué la richesse très particulière, du point de vue géologique et géomorphologique, de la région de Béni-Abbès : hamada, dayas dispersées sur la surface hamadienne, regs graveleux ou ensablés, ergs et leurs bordures, pentes rocailleuses des djebels d'Ougarta ou de Tabelbala, lits d'oueds secs ou temporairement fonctionnels sont autant de substrats qui s'y trouvent réunis et sur lesquels se sont diversifiés, lors de l'évolution du climat saharien vers l'aridité actuelle, des groupements végétaux caractéristiques.

Mais avant de rappeler, en les empruntant à Ph. GUINET, ces différents groupements nous nous souviendrons de la distinction qui doit être faite entre les secteurs des Monts d'Ougarta et de Tabelbala, qui reçoivent une moyenne annuelle de pluie supérieure à 40 mm , et les régions de plus basse altitude (Piedmont d'Ougarta, Saoura, Hamada du Guir, ergs) dont la moyenne annuelle se situe entre 30 et 40 mm. P. QUEZEL se fonde sur l'isohyète 40 mm pour distinguer, au Sahara nord-occidental, deux portions : septentrionale et méridionale. La portion septentrionale (moyenne annuelle : 40 - 100 mm) s'étend au Nord d'Igli jusqu'au Piedmont atlasique entre la Haute Vallée de la Saoura à l'Est et le Djebel Bani au Maroc (cf. figure 9, chapitre IV), englobant vers le Sud les Monts d'Ougarta et de Tabelbala, seuls inclus dans le territoire ici concerné. P. QUEZEL y décrit une végétation bien développée, à caractère diffus, sauf dans les zones où les conditions de milieu, particulièrement favorables, lui permettent de se concentrer. La portion méridionale, moins arrosée, présente une végétation appauvrie et répartie suivant un mode plus contracté, en des stations privilégiées, rocailles, "dayas", bordures de Hamada. C'est dans cette portion

(1) Un certain nombre de lieux ou unités géographiques seront cités dans ce texte. Ils pourront en grande majorité être situés sur les figures 2 ("Introduction") et 16 (au début de la troisième partie de ce mémoire : "Etude palynologique stratigraphique").

méridionale que se situe la partie du territoire que nous avons étudié hors des Monts d'Ougarta.

Ph. GUINET a individualisé une dizaine de groupements (1) qu'il nomme "pseudo-steppes", auxquels il faut ajouter un petit nombre de faciès correspondant à des modifications ou à des dégradations de l'un ou l'autre de ces groupements. Ces "pseudo-steppes" se différencient en fonction du substrat, des conditions topographiques et édaphiques, de la façon suivante :

- groupements d'ergs ou de sols ensablés
- groupements de hamada
- groupements de regs caillouteux
- groupements de pentes rocheuses et d'éboulis
- groupements de lits d'oueds.

1 - Groupements d'ergs ou de sols ensablés.

Suivant l'importance des accumulations sableuses colonisées par les associations psammophiles, Ph. GUINET distingue deux types de groupements, assez strictement localisés et liés à des conditions dont les modifications conduisent à des dégradations ou à des faciès plus spécialisés.

a) La pseudo-steppe à *Calligonum azel* (Polygonacée) et *Danthonia fragilis* (Graminée) caractérise le Grand Erg occidental, excepté sa bordure et l'erg el Atchane partiellement (le petit erg el Atchane, situé à l'Est de la région d'El Gouira (cf. figure 16).

(1) - Nous serons amenée à citer un certain nombre de composantes de ces groupements; nous avons cependant restreint le plus possible le nombre des plantes citées, ne conservant par nécessité que les noms des plantes caractérisant les différents groupements, ceux également des espèces dont nous sommes susceptibles d'avoir retrouvé le pollen dans nos analyses, ceux enfin d'espèces dont nous connaissons bien le pollen actuel et dont nous pouvons dire, avec un minimum de certitude, qu'il n'est pas présent dans le lot des pollens déterminables de nos analyses. Quant aux Graminées, Composées, Chénopodiacees, la question est complexe : à quelques exceptions près, chez les Chénopodiacees notamment, il est encore quasiment impossible de distinguer les genres, nous y reviendrons.

La stabilité du milieu, rendu cohérent par la permanence d'une humidité appréciable liée, en partie aux précipitations, mais souvent à la nappe phréatique profonde, permet l'installation d'un groupe de plantes à système racinaire considérablement développé, non soumises à un rythme saisonnier, mais fleurissant grâce à l'eau dont elles disposent aussi bien en été qu'en hiver. Cette pseudo-steppe reste lâche et pauvre en espèces, en raison surtout de la pauvreté du milieu en éléments nutritifs (absence de sels minéraux, de calcaire). L'assèchement permanent des quelques centimètres superficiels de sable exclut la possibilité pour les thérophytes de se développer. C'est donc une association à nanophanérophytes (*Calligonum*), chamaephytes (*Moltkia ciliata* : Boraginacées et *Scrophularia saharæ* : Scrophulariacées), hémicryptophytes (*Cyperus conglomeratus*, *Aristida pungens*), cette dernière Graminée vivace, très développée ainsi que d'autres espèces du même genre, constituant un excellent pâturage.

b) la pseudo-steppe à *Aristida pungens* (Graminée) correspond à des conditions édaphiques moins strictes que la précédente. Elle peut aussi être considérée parfois comme une association dégradée par rapport à cette dernière. Elle occupe la bordure des masses dunaires colonisées par la pseudo-steppe à *Calligonum-Danthonia* (bordure du Grand Erg, et de l'erg el Atchane) ou les ergs de moindre importance (erg Djemel, erg Belfelfoul, figure 16). Elle s'installe également dans les couloirs interdunaires lorsque l'erg vient au contact de son substratum ou d'un substrat dur quelconque. Cette pseudo-steppe regroupe entre autres : *Calligonum comosum*, *Ephedra alata* ssp. *alenda*, *Retama retam*, *Genista saharæ* ainsi que *Cyperus conglomeratus*, *Aristida pungens*, composantes du groupement précédent, auxquelles il faut ajouter, parmi les espèces compagnes, *Neurada procumbens* (Rosacée) et *Launea reszoiifolia* (Composée). Cette pseudo-steppe dite "dégradée" est beaucoup moins riche en Graminées vivaces que la précédente. Elle reste cependant encore un très bon pâturage estival.

c) la pseudo-steppe à *Randonia africana* (Résédacée) et *Cornulaca monacantha* (Chénopodiace) est une association dont on suit le développement

tout le long de la bordure du Grand Erg sur 200 km du Nord au Sud. On pourrait suivre, de la même façon d'ailleurs, l'association précédente. Toutefois la pseudo-steppe à *Randonia-Cornulaca*, bien qu'elle soit encore liée à la présence de l'erg, marque cette fois la transgression des sables de l'erg, sous l'effet du transport éolien, sur le reg couvrant la Hamada. C'est une association de reg sableux fin, s'accommodant mal de milieux salés ou de terrains primaires, mais trouvant parfois sa place en milieu argilo-sableux, dans les zones d'épandages des oueds.

Le groupement, qui se compose essentiellement des plantes caractéristiques précédentes auxquelles s'ajoutent *Ephedra alata*, *Danthonia forskahlii*, *Salsola spinescens* (Chénopodiacee), peut évoluer vers différents faciès suivant que le milieu s'enrichit en sable (faciès à *Retama retam*, *Genista saharae*), en argiles (*Hyoscyamus muticus* et *Euphorbia guyoniana*), ou en sels (*Zygophyllum album* et *Traganum nudatum*, Zygophyllacées). Mis à part *Ephedra alata*, cette pseudo-steppe est essentiellement composée de chamaephytes et ne permet pas davantage que les précédentes le développement de plantes annuelles.

d) La pseudo-steppe à *Aristida* (s.l.) ne figure qu'en un très petit nombre de points sur la carte de Ph. GUINET. Que ce soit à proximité de l'erg Djemel ou, plus au Nord, de part et d'autre des collines du Djebel Zerhamra, où elle est liée à la proximité de bras dunaires prolongeant l'erg Irherer, cette formation est établie sur un reg ensablé sur une épaisseur de 50 cm au maximum. Sa composition n'a cependant aucune affinité avec la pseudo-steppe à *Cornulaca*. Les Graminées dominent avec plusieurs espèces d'*Aristida* qui forment une strate basse et dense, dans laquelle se développent quelques annuelles : *Androcymbium gramineum* et *Asphodelus tenuifolius* (Liliacées), *Ammodaucus leucotrichus* et *Daucus biseriatus* (Ombellifères), *Cotula* (= *Brocchia*) *cinerea* (Composée) entre autres.

e) Le faciès à *Aristida plumosa* n'est pas un groupement : il apparaît plutôt au sein-même d'autres associations et l'on observe couramment

au Sahara de ces touffes éparses d'*Aristida plumosa*, qui arrêtent et retiennent le sable transporté par le vent. Elles se trouvent peu à peu enfouies sous ces accumulations sableuses et, perdant leur vitalité, elles finissent par mourir : ainsi disparaît le support de ces petites buttes sableuses qui se trouvent ensuite reprises par le vent.

A la suite des groupements définis par Ph. GUINET nous dirons quelques mots seulement de la façon dont P. QUEZEL a traité, dans sa flore, de la végétation psammophile au Sahara. La façon de voir de cet auteur est basée sur la synthèse des divers relevés effectués dans l'ensemble du Sahara. Pour P. QUEZEL la végétation psammophile se résout alors en deux types d'associations :

- une association des dunes vives et des ergs (à *Calligonum* et *Aristida pungens*)

- une association des ergs sablonneux (à *Danthonia forshahlii* et *Plantago ciliata*)

L'association des dunes vives et des ergs est, pour l'auteur, caractérisée par une remarquable homogénéité malgré un appauvrissement très marqué au Sahara central et méridional, ceci prouvant un développement optimum des formations dunaires dans la partie septentrionale du Sahara. P. QUEZEL note d'ailleurs les affinités floristiques de ces dernières avec celles des zones steppiques d'Algérie et pour lui, les irradiations érémiques représentent une part importante du cortège floristique des dunes des Hauts Plateaux.

L'association des ergs sablonneux (*Danthonia forshahlii* et *Plantago ciliata*) est caractérisée, au contraire de la précédente, par l'importance que prend le développement des plantes annuelles. Ce groupement, qui semble en réalité peupler les régions les plus déshéritées du Sahara, reste probablement étranger au domaine que nous avons étudié.

Il était bon cependant de noter, quoique très brièvement, la pensée de cet auteur sur la végétation psammophile au Sahara, végétation qui compte surtout des espèces de souche saharo-sindienne dont le pourcentage, d'après P. QUEZEL, ne s'abaisse pas au-dessous de 90%.

2 - Groupe ment de Hamada.

Deux types d'association ont été reconnus à la surface de la Hamada.

a) La pseudo-steppe à *Anabasis aretioides* (= *Fredolia aretioides*) (Chénopodiacee) est exclusive des hamadas du Sahara nord-occidental (Pl.II, figure 1). Décrite par Ph. GUINET et Ch. SAUVAGE (1954) dans le Sud marocain, elle colonise toute la partie de la Hamada du Guir, voisine de Béni-Abbès. Cette plante chamaephyte à l'aspect de "chou-fleur" (que l'on nomme couramment "chou-fleur" de Bou Hamama) donne à la Hamada une physionomie tout à fait remarquable lorsqu'elle s'y trouve en peuplements denses. Il s'agit d'une endémique du Sud-oranais et du Sud-marocain, ayant quelques représentants au Sahara septentrional sur le revers de l'Atlas, mais dont l'aire de répartition se superpose, selon P. QUEZEL, à la portion septentrionale du Sahara nord-occidental. Les peuplements très abondants développés vers la limite nord de l'espèce deviennent plus diffus dans la partie méridionale de la Hamada du Guir, à partir d'Igli et jusqu'à 25 km au-delà de Béni-Abbès lorsque l'on atteint le rebord sud de la Hamada. Quelques individus sont épars dans les Monts d'Ougarta lorsque subsistent des lambeaux de formations hamadiennes. Notons que cette plante, ne supportant pas les milieux sableux, colonise, du moins dans la région de Béni-Abbès, les parties planes et non dégradées de la Hamada, occupant électivement les fissures dans la dalle de m ulière et développant à travers ces fissures un important système racinaire. Elle évite, en principe, le réseau hydrographique de surface de la Hamada. Du point de vue biologique, elle présente la remarquable particularité, qui ne lui est pas tout à fait exclusive d'ailleurs, de former très souvent des peuplements purs la plus grande partie de l'année, sauf lorsque les pluies de printemps permettent à quelques annuelles de se développer. *Fagonia glutinosa* (Zygophyllacée) est la plus caractéristique de ces dernières.

b) Le faciès à *Anvillea radiata* - *Bubonium graveolens* (Composées)
et la pseudo-steppe à *Zilla macroptera* (Crucifère) représentent respectivement le stade intermédiaire, puis le stade définitif de l'évolution de la végétation des "dayas", à la surface de la Hamada. Les "dayas" sont des dépressions d'origine karstique dont l'extension est variable (quelques dizaines à plusieurs centaines de mètres (Pl. II, figure 2). Qu'elles soient "ouvertes" (jalonnant le réseau hydrographique hamadien) ou "fermées" (terminaison d'un petit oued), les "dayas" reçoivent un matériel limono-sableux formant un sol qui peut atteindre plusieurs mètres d'épaisseur. Dans le cas d'une mauvaise alimentation en eau, l'évolution de la végétation qui colonise la "daya" peut s'interrompre au stade que caractérisent deux Composées : *Anvillea radiata* et *Bubonium graveolens*. Dans le cas contraire l'évolution se fait jusqu'au stade du développement de *Zilla macroptera*, considéré par Ph. GUINET comme caractéristique de l'association. Au terme de cette évolution la "daya" est peuplée d'espèces représentant les divers types biologiques : nanophanérophytes (*Zilla*, *Launea arborescens*), chamaephytes (*Anvillea-Bubonium*), hémicryptophytes (*Psoralea plicata*, *Lotus jolyi*), thérophytes (*Asphodelus*), etc.

Notons que pour P. QUEZEL l'association colonisant les "dayas" a pour caractéristiques *Plantago ciliata* et *Ormenis lonadioides*, cette dernière espèce entrant dans le cortège floristique de la pseudo-steppe ici décrite par Ph. GUINET. Nous avons rattaché ce groupement propre aux "dayas" à la végétation des Hamadas, toutefois nous aurions pu le classer à côté des formations d'oueds qui représentent un autre type de dépressions. En effet, Ph. GUINET note l'existence de "dayas" suffisamment importantes pour que se superposent à la végétation que nous avons décrite des espèces d'oueds sablonneux actuels du piedmont atlasique, tels que *Acacia raddiana* et *Ziziphus lotus*, cette superposition témoignant de la plus grande importance, dans un passé plus ou moins reculé, du réseau hydrographique hamadien et du peuplement de ses rives par une végétation maintenant disparue ou rarissime. Pour P. QUEZEL (p. 127), *Acacia raddiana* et *Ziziphus lotus* caractérisent une association des "berges et lits sablonneux des oueds de quelque importance qui descendent des flancs de l'Atlas saharien".

3 - Groupe ment de reg caillouteux, non ensablé : la pseudo-steppe à *Haloxylon scoparium* (Chénopodiaceé). Son extension est assez importante dans le Sud algérien (entre El Golea et le plateau du Tademaït), ainsi que dans la dépression de l'oued Mya. Elle se retrouve, à la même latitude approximativement, dans la région de Béni-Abbès et vers le Sud, comme un groupement à affinités méditerranéennes. C'est une formation "pauvre" des regs graveleux, des zones d'écrandages et des fonds d'oueds déblayés par le vent de tout élément fin. Elle est développée dans toutes les dépressions qui séparent les pentes rocheuses des djebels d'Ougarta de la vallée de la Saoura et remplace la pseudo-steppe à *Anabasis*, sur la Hamada, lorsque celle-ci est en pente. Le cortège floristique associé n'est pas spécifique d'un milieu précis. Seulement, l'association supporte mal les milieux sableux ou limono-argileux et la végétation du reg évolue, s'il survient des modifications du milieu, vers l'une des associations précédemment décrites.

P. QUEZEL considère ce groupement comme un élément de remplissage, encore mal connu du point de vue phytosociologique et disparaissant, au Sud des Monts d'Ougarta, lorsque s'intensifie l'aridité; cette disparition se fait au profit d'une steppe à Salsolacées arbustives, à caractère désertique.

4 - Groupe ment des pentes rocheuses, des falaises, des éboulis : la pseudo-steppe arbustive à *Withania adpressa* (Solanée) et *Limonias trum feei* (Plumbaginacée).

C'est la végétation qui caractérise, dans la région de Béni-Abbès, les collines, les pentes et les éboulis rocheux des Monts d'Ougarta et de Tabelbala. Elle semble occuper, préférentiellement, les affleurements de quartzites primaires à forte inclinaison, alors qu'elle évite rochers ensablés, lits d'oueds sablonneux, schistes primaires et toutes surfaces horizontales. Ph. GUINET décrit ce groupement comme extrêmement riche, possédant un fond d'espèces saharo-sindiennes auxquelles se superposent certaines espèces à affinités méditerranéennes marquées (*Plantago akkensis*, *Ormenis eriolepis*), d'autres, endémiques du Sahara occidental (*Foleyola billotii*, *Withania adpressa*), d'autres enfin à affinités tropicales (*Maerua crassifolia*,

Balanites aegyptiaca, *Gymnosporia senegalensis*). Tant par le nombre des espèces que par la diversité de leur origine, la flore des Monts d'Ougarta est donc d'un très grand intérêt. Sur les pentes réunissant les meilleures conditions d'inclinaison et d'exposition, le groupement est très développé et prend un caractère à la fois édaphique et climatique. On retrouve enfin des éléments de ce groupement sur certains éboulis en bordure de la Hamada du Guir, à condition que l'ensablement soit nul ou reste superficiel.

P. QUEZEL, en comparant un certain nombre de relevés effectués dans des conditions édaphiques comparables, dans les massifs primaires autres que les djebels d'Ougarta (Tafilalet, Djebel Bani au Maroc, djebels de la Haute Saoura, revers méridional du Haut Atlas), note que ce groupement, dans lequel il distingue plusieurs sous-associations, se trouve représenté par un certain nombre d'espèces dans l'ensemble de ces régions, tandis qu'il est absent au Sud de Colomb-Béchar. Ainsi en est-il de *Linaria sagittata* (Scrophulariacées), *Polycarpaea akkensis* (Caryophyllacée), *Lotus roudairei* (Papilionacées), *Warionia saharae* (Composée) ou de quelques Graminées vivaces entre autres.

Il n'est pas sans intérêt de remarquer ici que P. QUEZEL dans ce groupement fait entrer *Pistacia atlantica*, rencontré à l'état relictuel en Haute Saoura, sur les pentes exposées au Nord du Djebel Arlal, à 120 km environ en amont de Béni-Abbès. C'est l'élément le plus significatif du petit groupe des espèces à affinités méditerranéennes marquant la proximité de l'Atlas. Toutefois, pour Ph. GUINET, le Djebel Arlal représente déjà une dépendance des montagnes du bassin de Colomb-Béchar dont la végétation est, selon cet auteur, toute différente de celle des Monts d'Ougarta, bien qu'il n'en soit distant que d'une centaine de kilomètres. Notons que *Withania adpressa* est encore signalée par P. QUEZEL sur les pentes du Djebel Arlal, tandis que Ph. GUINET ne l'a plus retrouvée dans le Sud du Djebel Béchar. Au Djebel Arlal, *Withania adpressa* atteint probablement la limite de son aire. L'intérêt pour nous-même de ce groupement en Haute Saoura, fut-il très appauvri, est la possibilité qu'il nous donne de rattacher *Pistacia atlantica* à la même association que celle qui caractérise les Monts d'Ougarta. Au même

groupement, mais dans un domaine d'influence déjà océanique, P. QUEZEL rattache également *Argania sideroxylon*, actuellement endémique du Sud marocain et seul représentant, à cette latitude, de la famille des Sapotacées, par ailleurs exclusivement tropicale.

L'étude de la composition floristique de ce groupement a conduit Ph. GUINET à reconnaître des affinités très notables entre la végétation des Monts d'Ougarta et celle des montagnes de l'extrême Sud-marocain, affinités qui sont beaucoup moins évidentes avec les montagnes du Sud-oranais. L'auteur voit, en cela, une communauté de passé géologique entre les Monts d'Ougarta et les montagnes du Sud-marocain.

Dans son ensemble, la végétation des pentes et des rochers des Monts d'Ougarta est à caractère essentiellement chamaephytique, même si les espèces caractéristiques, au moins, sont arbustives. Elles constituent évidemment le type de pâturage de printemps le plus abondant.

Lorsque l'on quitte les Monts d'Ougarta ou même le Sahara nord-occidental, ce groupement de rocailles se modifie. Riche encore en espèces saharo-sindiennes au Sahara septentrional, il acquiert de nombreuses espèces méditerranéennes à proximité de l'Atlas. Vers l'Ouest la végétation décrite au Zemmour par Ch. SALVAGE (1946-1947, 1949) est proche de celle des Monts d'Ougarta, à cette différence près, cependant, qu'elle compte des éléments d'origine tropicale non implantés plus à l'Est (*Grewia*, *Barleria*). Vers le Sud, au Sahara central et méridional, sont décrits des groupements rupicoles de composition différente (*Ephedra altissima*, *Anabasis articulata*, *Zygophyllum simplex*, pseudo-steppe à *Forskhalea tenacissima*). Dans ces formations les éléments d'origine tropicale se développent également (*Capparis*, *Maerua*, de la famille des Capparidacées et *Cocculus*, de la famille des Ménispermacées).

5 - Groupements des lits d'oueds.

Deux types de groupements végétaux caractérisent les oueds sahariens :

- ou bien ces oueds ne reçoivent que temporairement les eaux de pluies locales : c'est le cas des vallées sèches des Monts d'Ougarta, alors

colonisées par une "pseudo-steppe arborée à *Acacia-Panicum*",

- ou bien ils sont alimentés de façon plus régulière par des apports locaux mais également lointains : c'est le cas de la vallée de la Sacura, qu'occupe une Tamarigale ou "pseudo-steppe à *Tamarix articulata*".

a) La pseudo-steppe arborée à *Acacia-Panicum*.

C'est aussi la "savane à *Acacia raddiana* et *Panicum turgidum*" de Ch. SAUVAGE (1946) et la "savane désertique à gommiers" de M. GUINOCHET et P. QUEZEL (1954).

Localisée en bordure des thalwegs limoneux et caillouteux des vallées, dans les Monts d'Ougarta et de Tabelbala, elle remonte parfois, en se dispersant, le long des versants et se développe également dans les zones d'épandages sablonneuses. Du point de vue physionomique, l'association prend l'aspect d'une strate arborescente diffuse avec, au ras du sol, des touffes de Graminées vivaces. Au cours de nos randonnées dans les Monts d'Ougarta les plus belles formations que nous ayons rencontrées sont celles qui peuplent la grande zone d'épandage qui, une fois franchi le Kheneg et Tlaïa, se trouve au confluent de l'Oued el Abiod avec l'Oued Lache et l'Oued Farès (Pl. III, figure 1), ainsi que les vallées-mêmes de ces oueds. Nous l'avons retrouvée également dans l'Oued Trick, plus au Sud. et dans l'Oued Ahiersa. Cependant, la densité de peuplement serait bien davantage remarquable si la végétation de ces régions n'était pas dégradée par l'homme. Si *Acacia* et *Panicum* semblent liés par des exigences écologiques comparables, le cortège floristique qui les accompagne compte des espèces aussi bien psammophiles que saxicoles, suivant les conditions locales du milieu. Dans ce cortège entrent, comme dans le groupement à *Withania*, certaines espèces propres dans cette région aux Monts d'Ougarta, telles l'endémique *Foleyola billotii* ou quelques genres à affinités tropicales : *Maerua*, *Gymnosporia*. *Acacia raddiana* doit être considéré comme un élément d'origine tropicale, mais son implantation en milieu désertique, assez loin au Nord jusqu'au revers atlasique, en fait un élément à répartition actuelle tout à fait saharienne, qui n'est limitée vers le Nord que par des températures nettement inférieures à zéro.

M. GUINOCHET et P. QUEZEL (1954) précisent que cette pseudo-steppe à *Acacia-Panicum* se rencontre toujours sur les cailloutis colmatés et qu'elle est remplacée, lorsque le sable paraît en surface, par l'association à *Pennisetum dichotomum* et *Rottboellia hirsuta*. Ces deux associations se trouvent donc couramment juxtaposées, comme le note Ph. GUINET lui-même. Dans le cortège floristique les accompagnant, la présence de l'élément psammophile *Ephedra alata* est fréquente (Pl. I, figure 2).

La pseudo-steppe à *Acacia-Panicum* se développe dans toute la partie septentrionale du Sahara (Sahara septentrional proprement dit, Sud-tunisien, pourtour du Grand Erg, Saoura, Sud-marocain, Zemmour). Nous avons vu, dans le paysage des Hamadas sud-marocaines (Guir, Daoura), des *Acacia* plus ou moins rabougris ou épanouis jalonner certains oueds du réseau hydrographique, ou border les "dayas". Au Sahara central la pseudo-steppe perd un certain nombre des espèces à affinités septentrionales de son cortège floristique, mais acquiert, par contre, dans les oueds rocailleux des massifs montagneux, un caractère méridional très accentué en s'enrichissant en éléments sahéliens.

b) La pseudo-steppe arborée à *Tamarix articulata*.

La Tamarigaie occupe, dans la région de Béni-Abbès, la vallée de la Saoura. Sous le nom de "forêt-galerie" elle forme plutôt des massifs denses et localisés le long de l'oued, massifs liés à la présence d'une épaisse couche alluvionnaire constamment humide (importance de l'inféro-flux) et marquant un degré de salinité notable. La strate arborée de la Tamarigaie est composée de *Tamarix articulata*, qui occupe le lit majeur de la Saoura. *Tamarix speciosa* (= *T. gallica*), espèce arbustive, l'accompagne souvent, tandis qu'une augmentation de salure et d'humidité favorise le développement de *Tamarix pauciovulata*, également arbustif (P. QUEZEL et P. SIMONNEAU, 1960).

La Tamarigaie, en fonction du salant et de l'humidité, peut évoluer vers plusieurs types de faciès à Salsolacées principalement : *Salsola fruticosa*, *Suaeda mollis*, *Suaeda fruticosa*, *Atriplex halimus*. En milieu peu salé, humide et enrichi en sable, on rencontre fréquemment *Calligonum comosum* dans le lit de l'oued.

La forêt-steppe à *Tamarix articulata* occupe les oueds du Sahara central et des montagnes sahariennes, électivement les oueds sablonneux rayonnant autour des massifs granitiques (P. QUEZEL, p. 179) si la nappe phréatique ne dépasse pas 7 à 8 m de profondeur. Lorsque la nappe s'approfondit, le peuplement se disperse et l'érosion dégage progressivement des buttes alluviales hautes de 2 à 3 m et plantées d'un massif de *Tamarix*. Dans certaines vallées sèches de la région de Béni-Abbès, ces buttes sont une image familière. De l'une d'elles vient le nom qui fut donné au Kheneg et Tlaïa, l'un de ces défilés conduisant au coeur des djebels d'Ougarta (tlaïa : nom arabe de *Tamarix articulata*) (Pl. III, figure 2).

Remarque :

La végétation des points d'eau permanents, des "gueltas", est composée d'éléments beaucoup plus ubiquistes, généralement d'eau douce ou peu salée. Les "gueltas" sont souvent, dans la Saoura, alimentées par la nappe fossile du Grand Erg. D'autres, à la suite des pluies d'hiver, occupent des fossés creusés dans le thalweg des oueds (oued Ali, Pl. VIII, figure 2). Il s'installe souvent une végétation hygrophile de roseaux (*Phragmites communis*), de Cypéracées et autres plantes aquatiques n'ayant pas un caractère spécifiquement désertique (Pl. IV, figure 1).

6 - La pseudo-steppe à *Salsola foetida*.

Elle n'apparaît que comme un faciès particulier, parmi les groupements halophiles-halogypsophiles que l'on connaît au Sahara nord-occidental. C'est une formation de sols salés secs, présente dans le lit fossile et les sebkhas de la Saoura, développée également dans certaines sebkhas fonctionnelles (sebkha d'Ougarta), dans certains lits d'oueds sporadiquement fonctionnels (oued Ali) et sur les schistes primaires, *Salsola foetida* est accompagnée d'espèces typiquement sahariennes : *Traganum nudatum*, *Salsola sieberi*, *Anabasis articulata* (Chenopodiacees), *Haplophyllum vermiculare* (Rutacées) et *Zygophyllum album*.

Remarques à propos de la végétation halophile et halogypsophile en général.

Les zones salées ou hypersalées du Sahara sont peuplées par une végétation strictement édapho-climatique composée d'espèces vivaces, tandis que les annuelles font presque totalement défaut. Il convient de donner ici quelques précisions sur l'évolution de la végétation en fonction de l'enrichissement des substrats en sels minéraux.

a) C'est principalement dans les vallées, les dépressions et les sebkhas qu'est susceptible de se développer une végétation à caractère halophile. P. QUEZEL et P. SIMMONNEAU (1960) ont montré comment la savane désertique à *Acacia-Panicum* qui représente, nous l'avons vu, le peuplement originel des lits d'oueds tels que ceux des Monts d'Ougarta ou de la surface de la Hamada du Guir, peut se dégrader lorsque s'accroît la salinité du milieu. Un faible taux de salinité ne se manifeste que par l'apparition, dans le cortège floristique normal, d'un petit nombre de Chénopodiacees, parmi lesquelles : *Nitraria retusa*, *Suaeda monodiana*, *Salsola foetida*, *Atriplex halimus* et par la présence également de *Tamarix sp.* Au-delà de ces faibles concentrations (2 gr. de chlorures par kg de terre sèche), la dégradation du peuplement est marquée par la disparition progressive des composantes du cortège normal et leur remplacement par des espèces indicatrices de milieux de plus en plus salés (steppe à *Salsola foetida* et *Zygophyllum gaetulum*, puis peuplement de *Limoniastrum*.

b) De la même façon, la pseudo-steppe à *Haloxylon scoparium*, établie sur un reg très peu chargé en sel (2 à 5 gr.), évolue dès que la salinité augmente. Il s'y substitue un groupement halogypsophile de composition d'ailleurs assez instable à *Salsola foetida*, *Salsola vermiculata*, *Zygophyllum album*, *Traganum nudatum*. Celui-ci se retrouve dans la vallée de la Saoura où, suivant les lieux et la profondeur de la nappe phréatique, la salinité augmentant encore l'a fait évoluer localement vers la pseudo-steppe à *Tamarix*, selon les quatre faciès rencontrés par Ph. GUINET et précédemment cités, ou bien vers le groupement à *Zygophyllum album* et *Zygophyllum geslini*.

Ce dernier existe çà et là dans toute la vallée de la Saoura et correspond à une salure très élevée consécutive à un accroissement de sécheresse.

Comme l'exprime Ph. GUINET à propos de la pseudo-steppe à *Salsola foetida*, cette végétation halophile au Sahara manque de caractère : elle est, en effet, liée à des variations très locales de l'humidité de la teneur en sels solubles, à la présence ou à l'absence de gypse enfin.

P. QUEZEL, pour la portion septentrionale du Sahara, a effectué un bon nombre de relevés se rapportant à des groupements hyper-halophiles principalement. Par contre pour cet auteur, la végétation des sols salés est rare au Sahara Central où l'aridité devient extrême dans les zones planitiaire. Les quelques points salés et humides, dans certains oueds, sont peuplés de *Tamarix* (plusieurs espèces propres à cette région). Au Sahara méridional, la disparition de la flore halophile est liée à la fois à la nature chimique des sels qui sont des carbonates alcalins (très peu de chlorures), à la forte élévation de température et au rythme estival des précipitations. Température moins élevée et plus grande humidité enfin permettent aux groupements de sols salés de se développer au Sahara occidental jusqu'à l'embouchure du Sénégal.

De toute évidence, les groupements halophiles et halogypsophiles sont localisés dans la partie mésogéenne du Sahara où ils couvrent de vastes surfaces. Du point de vue biogéographique, dans la région de la Saoura, l'élément strictement saharien est dominant en raison de l'apparition d'un endémisme spécifique prononcé, lié à la présence de gypse accompagnant les sels solubles dans les zones alluvionnaires.

D - LES MARGES SAHARIENNES : VEGETATION SUB-DESERTIQUE.

Une fois définies les lignes principales de la composition de la végétation dans la région de Béni-Abbès et quelques indications ayant été données sur la façon dont certains de ces groupements se modifient dans les autres domaines sahariens, nous rappellerons brièvement ce que disent P. OZENDA et P. QUEZEL, de la végétation sub-désertique.

1 - La marge septentrionale du Sahara est plus ou moins confuse suivant la topographie du Piedmont atlasique. Vers l'Ouest, la Hamada du Guir ne se distingue pas de l'ensemble des Hamadas sud-marocaines qui, par l'intermédiaire de la vallée du Dra, rejoignent le Djebel Bani dont Ph. GUINET a noté, nous l'avons vu, la parenté de la flore avec celle des Monts d'Ourgarta. Puis la limite du désert se confond avec le revers des chaînes les plus orientales du Haut Atlas dont la végétation est encore tout à fait désertique. De même, dans le Sud-oranais, les premiers reliefs de l'Atlas saharien dominant, à 1800-2000 m d'altitude, un Piedmont très désertique : ces chaînes sont déjà colonisées à leur sommet par la steppe à alfa (*Stipa tenacissima*) des Hauts-Plateaux et les chênes-verts (*Quercus ilex*) n'en sont pas absents. Dans une étude phytosociologique qu'il a faite des confins saharo-marocains, G. LEMEE (1954, p. 153) décrit, sur les pentes exposées au Sud du Djebel Antar (entre Figuig et Colomb-Béchar), à partir de l'altitude 1100 m., un groupement végétal dont l'aspect est celui d'une steppe montagnarde à alfa, avec déjà 1/5 d'espèces méditerranéennes pour 4/5 de formes sahariennes, proportions qui d'ailleurs, sur le flanc Nord, se transforment en un rapport d'égalité.

L'intrication entre la végétation sub-désertique caractérisant les Hauts-Plateaux et la végétation saharienne crée, dans le Sud-algérien, une large zone de transition où coexistent la steppe à alfa et celle à *Haloxylon*. La steppe à alfa s'avance même, nous l'avons vu dans le premier chapitre, jusqu'au Sud de Laghouat, à Tirlhelmt (moyenne annuelle des pluies : 150 mm). La limite du désert traverse la région des dayas où le groupement à Pistachier (*Pistacia atlantica*) et Jujubier (*Ziziphus lotus*) est comparable à celui des Hauts-Plateaux. Nous rappellerons enfin la remarque de P. QUEZEL notant l'importance que prennent les espèces érémiques, transgressives des sables d'erg du Sahara nord-occidental, dans les formations dunaires des Hauts-Plateaux, en passant par les dunes qui bordent, au Nord du Sahara, l'Atlas Saharien. Dans la région du Sud-tunisien, la zone sub-désertique est surtout caractérisée par les Grands Chotts. Leur végétation est plus voisine de celle des Hauts-Plateaux que de celle des sols salés sahariens.

C'est surtout dans les zones bordières, les moins riches en sels, que l'on retrouve quelques-unes des espèces que nous connaissons plus au Sud :
Suaeda fruticosa, *Traganum nudatum*, *Salsola vermiculata*, *Atriplex halimus*.

2 - Le problème de la marge sub-désertique méridionale du Sahara rejoint celui que nous posons en début de chapitre quant à l'appartenance biogéographique de cette région au monde mésogéen ou au monde tropical. Le passage du Sahara méridional à la zone sahélienne qui appartient déjà au domaine soudanais est progressif en l'absence d'accidents topographiques majeurs bien qu'il soit admis, nous l'avons vu, que l'isohyète des 150 mm marque la limite sud du Sahara. Cette zone de transition présente une végétation mixte, saharienne encore (*Cornulaca monacantha*), mais déjà infiltrée d'éléments d'origine tropicale : *Commiphora*, *Combretum*, *Indigofera*, *Balanites aegyptiaca*, *Acacia seyal*, ce dernier élément devenant dominant par rapport à la savane à *Acacia raddiana-Panicum* dont les peuplements sont alors très diffus.

3 - La bordure atlantique du Sahara présente sur une cinquantaine de kilomètres vers l'intérieur, une végétation qui lui est particulière. De nombreuses endémiques, "plantes grasses" (euphorbe cactiforme : *Euphorbia echinus*), des lichens foliacés et la présence d'arganiers (*Argania sideroxylon*) arbres épineux endémiques du Sud-marocain, caractérisent cette région.

Cette physionomie de la végétation, exclusive d'un territoire qui s'étend du Maroc jusqu'en Mauritanie, est due à la présence d'une humidité atmosphérique permanente et suffisante pour compenser les effets du climat saharien.

4 - Les hautes montagnes sahariennes.

Elles seront considérées ici à côté des territoires précédents, non en tant que marges sahariennes mais comme des enclaves représentant, au cœur d'un désert hyperaride (Sahara central) ou atténué (Sahara méridional), l'expression d'un phénomène bioclimatique étranger, lié à des zones d'altitude dépassant 1800 m, au niveau desquelles les conditions climatiques permettent le maintien d'une végétation tout à fait particulière. Ce domaine des

Hautes Montagnes sahariennes regroupe le massif du Hoggar et ses annexes (Tefedest, Tassilis n'Ajjer, Mouydir), le massif du Tibesti, la partie septentrionale du massif de l'Aïr. Sans qu'il soit question ici de préciser la composition des groupements individualisés dans ce domaine montagnard (P. QUEZEL, 1954, 1965), nous insisterons seulement sur l'hétérogénéité de son peuplement végétal.

Un très petit nombre d'espèces autochtones forment un groupe archaïque, lui-même hétérogène avec dominance toutefois d'éléments de souche africaine. Mais le fond même de la flore est un mélange d'éléments à affinités septentrionales pour les unes, africaines pour les autres. Nous avons eu l'occasion d'évoquer cette complexité en présentant les éléments biogéographiques entrant dans la composition de la flore saharienne. Dans l'ensemble de cette flore hétérogène, les taxa sahariens perdent beaucoup de leur importance. Dans les montagnes du Sahara central ce sont les taxa septentrionaux et méditerranéens qui dominent (présence d'endémiques de souche méditerranéenne dans les lits d'oueds au Hoggar : *Cupressus dupreziana*, *Olea laperrini*, *Myrtus nivellei*), les représentants sahéliens restant très dispersés.

Au Tibesti les taxa septentrionaux méditerranéens subsistent, mais il s'y superpose, en abondance, un cortège floristique composé de taxa sahéliens (comme au Sahara Central), mais aussi de taxa montagnards africains orientaux et d'autres, à affinités oro-africaine, qui sont exclusifs des massifs du Sahara méridional.

Le caractère hétérogène de la flore des Hautes montagnes sahariennes, qui est empreinte d'un endémisme assez accentué, met en évidence, rappelons-le, la complexité d'origine du peuplement végétal de ces massifs. Les éléments d'affinités diverses se regroupent le plus souvent en associations comparables à celles qu'ils forment dans les domaines dont ils sont issus depuis un passé plus ou moins lointain et il faut souligner l'aspect relictuel de ces groupements, installés en des lieux privilégiés, grâce à des microclimats souvent très différents des conditions générales auxquelles est soumis l'ensemble de ces massifs montagneux.

E - CONCLUSION

Nous venons de tenter de présenter les traits principaux qui caractérisent la flore saharienne dans sa composition, son origine, la biologie de ses espèces et les divers types d'adaptation de ces dernières. Ce n'est ici qu'une synthèse dont les éléments ont été empruntés à divers auteurs. Les quelques données bibliographiques, rappelées au début de ce chapitre, suffisent à témoigner de l'intérêt suscité par la végétation de ce vaste désert, dont tant d'explorations botaniques ont permis de saisir le caractère complexe, la diversité de composition liée au contexte géographique, aux conditions climatiques locales, à certains milieux très particuliers enfin. Pour celui qui n'a pas cheminé à travers le désert en lui consacrant une présence suffisamment attentive et curieuse, il ne doit subsister peut-être qu'une impression assez déconcertante de monotonie. Il n'est qu'à lire le passionnant ouvrage de P. QUEZEL, tant de fois cité, pour découvrir que cette monotonie n'est qu'apparente et que le très grand nombre des associations végétales qui ont été définies dans l'ensemble du Sahara en révèlent, au contraire, une certaine richesse, discrète sûrement mais réelle, en dépit du caractère très rude de cet immense territoire. A l'échelle plus restreinte des quelques 11.000 kilomètres carrés cartographiés par Ph. GUINET aux alentours de Béni-Abbès, cette différenciation de faciès, de groupements végétaux, adaptés à des milieux très précis, devient encore plus évidente.

CHAPITRE IV

LA VEGETATION FORESTIERE ACTUELLE EN AFRIQUE DU NORD

Sans trop anticiper sur le chapitre qui doit présenter ultérieurement les familles, genres ou espèces identifiés dans l'ensemble de nos analyses, on ne peut échapper, cependant, à soulever le problème de l'appartenance d'une fraction de la flore pollinique, à des essences forestières d'origine septentrionale, que cette flore puisse représenter des espèces ayant effectivement peuplé la région de Béni-Abbès et des Monts d'Ougarta pendant certaines périodes du Quaternaire, ou qu'elle soit le témoignage d'apports lointains, par les courants atmosphériques ou par l'eau. Il est alors opportun de rechercher où l'on peut actuellement, au Nord du Sahara, reconnaître par exemple, la présence de *Quercus ilex*, de *Pinus halepensis* ou d'essences plus mésophiles telles que *Pinus laricio*, *Alnus* entre autres. Peut-on les situer dans les chaînes de montagnes qui bordent le Sahara vers le Nord, dans les montagnes les plus voisines du domaine saharien qui nous concerne ? Doit-on les situer dans des régions plus éloignées ? C'est après avoir reconstitué la physionomie des principaux étages de végétation caractérisant les montagnes d'Afrique du Nord que nous serons en mesure, par la suite, de déterminer si les espèces, représentées dans les microflore analysées, sont encore actuellement vivantes dans ces régions.

Les explorations botaniques qui ont été faites dans les montagnes de l'Atlas sont nombreuses et les relevés floristiques dont elles ont permis de rassembler les données, constituent une réponse précieuse aux questions posées. Nous avons dans ce chapitre fait le choix d'un certain nombre de ces documents. Toutefois, devant la diversité des régions étudiées, diversité liée à leur situation géographique dans l'Atlas, à leur appartenance à des milieux géologiques variés, à leur subordination à des conditions climatiques sou-

vent très locales, à leur proximité ou à leur éloignement enfin du Piedmont désertique, il s'est avéré que la composition et la zonation de la végétation restaient très propres à chacun des territoires explorés et qu'il eut été très artificiel de présenter la végétation forestière des montagnes d'Afrique du Nord, à travers une synthèse des données recueillies. C'est pourquoi, au risque d'infliger ici au lecteur des descriptions fastidieuses, comportant parfois des détails que rien ne nous permettait d'éliminer de leur contexte sans déformer l'image réelle des observations, nous avons adopté de préciser les traits principaux de la flore forestière en chacune des régions dont nous avons cru devoir retenir les relevés botaniques, chacune d'elles étant considérée isolément.

Pour ce faire, nous avons cependant choisi de respecter un cadre géographique, rassemblant, dans un premier ensemble, les données relatives aux massifs les plus voisins du territoire saharien étudié. C'est en effet dans ces massifs que se situe la haute vallée du Guir. C'est également dans les basses montagnes du Sud-oranais que l'oued Zousfana trouve sa source. La vallée de la Saoura, qui reçoit ses eaux du Guir et de la Zousfana se trouve donc sous la dépendance de cette région montagneuse qui touche, à la fois, au Grand-Atlas et aux plus basses montagnes occidentales de l'Atlas saharien. Nous avons ensuite envisagé deux ensembles, d'une part les massifs que l'on peut considérer comme représentant le prolongement occidental du groupe des massifs précédents, d'autre part les montagnes de l'Atlas saharien qui en constituent le prolongement oriental. La figure 9 (p. 77) , extrêmement schématique, permet de situer le plus grand nombre des massifs ou localités cités dans ce chapitre.

A - GROUPE DES MASSIFS MONTAGNEUX LES PLUS VOISINS DU TERRITOIRE SAHARIEN ETUDIE.

I - VEGETATION A L'EXTREMITÉ ORIENTALE DU GRAND-ATLAS, DANS LE MASSIF DE L'ARI AYACHI, TRAVERSE DANS SA PARTIE MERIDIONALE PAR LES GORGES DE L'OUED GUIR.

Le puissant massif de l'Ayachi dont l'altitude varie entre 2000 et 3876 m représente l'extrémité tout à fait orientale du Grand Atlas. Il est constitué d'une série de chaînes parallèles orientées SE-NW qui s'étendent, du Nord au Sud, depuis la haute vallée de la Moulouya jusqu'à la latitude de Bou-Denib, à la limite-même de la plaine saharienne. Au coeur de ce massif, la chaîne la plus importante est la troisième à partir du Nord : c'est le Djebel Ayachi, qui porte les cotes les plus élevées et forme la ligne de partage des eaux entre le bassin de la Moulouya (versant méditerranéen) et le bassin du Ziz (versant saharien).

Du point de vue climatique, les conditions sont très précaires sur l'ensemble du massif. De fortes chutes de neige maintiennent l'enneigement, sur le flanc nord, sept mois par an au-dessus de 3000 m. La période estivale ne connaît que des pluies orageuses et le degré hygrométrique de l'air est très peu élevé. Le massif est essentiellement calcaire, ce qui explique une grande pauvreté du sol en réserves hydriques superficielles et l'aspect également appauvri de la végétation.

L'ensemble du massif émerge de la plaine d'alfa à 1600 m environ. *Stipa tenacissima* et *Artemisia herba-alba* (alfa et armoise blanche) peuplent, non seulement les pentes de la haute vallée de la Moulouya, entre 1300 et 1600 m au Nord, mais aussi les parties les plus basses des nombreuses chaînes montagneuses qui séparent le haut Djebel Ayachi de la plaine saharienne. C'est le flanc sud du Djebel Mechmech qui jalonne la limite méridionale du massif, séparant en même temps la région méditerranéenne de la région saharienne. Le Djebel Mechmech est une sorte de Causse qui, à 1300 m d'altitude, est traversé par les gorges de l'Oued Guir et encore occupé par la steppe à alfa. Au pied du Djebel, à 1000 m d'altitude, la plaine saharienne

est couverte par la steppe désertique à *Haloxylon scoparium* et *Anabasis aretioides*. La steppe d'alfa représente donc, pour l'ensemble de ces montagnes, un étage basal au-dessus duquel, à l'altitude 1600 m, commence la zone forestière qui monte le long des pentes jusqu'à 2500-3000 m.

C'est à H. HUMBERT (1924), que nous devons les résultats d'une exploration botanique de l'Ari Ayachi, à partir de la plaine de Midelt dans la Haute Moulouya. Nous devons également à L. EMBERGER, un relevé des zones de végétation sur le flanc nord du Djebel Masker (3277 m), dont le sommet se situe à l'W par rapport à celui du Djebel Ayachi.

H. HUMBERT généralise à l'ensemble du Grand Atlas oriental, l'étagement de la végétation tel qu'il l'a observé en parcourant les pentes nord de l'Ayachi. Comme l'a fait R. MAIRE il distingue lui-même trois étages :

1) L'étage montagnard occupe la base des premières pentes sur le flanc nord des montagnes. Entre 1600 et 2000 m, la strate arborescente présente un aspect très clairsemé : c'est un piqueté de petits arbres. *Quercus ilex*, *Juniperus phoenicea*, *Juniperus oxycedrus* dominent une strate herbacée essentiellement composée d'alfa, qu'accompagne son cortège de plantes stepmiques habituelles, *Artemisia herba-alba* notamment. H. HUMBERT souligne l'apparition simultanée de *Quercus ilex* et *Juniperus phoenicea*, tandis que d'ordinaire s'individualise, à la base de cet étage, une ceinture inférieure de *Juniperus phoenicea* auquel se joint, un peu plus haut seulement, *Quercus ilex*. L'altitude élevée de la plaine steppique de la Haute Moulouya explique cette juxtaposition qui ne semble pas exister sur le flanc sud et qui ne se retrouve plus dans les autres montagnes, où la zone à *Juniperus phoenicea* est bien individualisée, nous le verrons, dans le Sud-oranais, entre autres exemples. Malgré la sécheresse de cette région, la présence de nappes souterraines favorise parfois la croissance, dans les talwegs, de *Fraxinus xanthoxyloïdes* et *Salix purpurea*, mais sur les alluvions les plus récentes, c'est toujours la strate herbacée qui prend possession du terrain, avant qu'apparaissent des formes arbustives. Parmi ces herbacées figure, en bon rang, *Artemisia herba-alba*.



M. Decobert

Fig. 9 Situation schématique, en Afrique du nord, des principaux reliefs, djebels ou secteurs géographiques cités dans le chapitre IV notamment.

2) L'étage sub-alpin doit être divisé en deux horizons :

a) au niveau de l'horizon inférieur (2000 à 2400 m) l'association précédente change de caractère. *Quercus ilex* est encore accompagné de *Juniperus oxycedrus*, mais *Juniperus phoenicea* y est remplacé par *Juniperus thurifera*, espèce indicatrice de conditions climatiques déjà plus précaires. La steppe à alfa et armoise disparaît également, faisant place aux xérophytes épineux caractéristiques des hautes altitudes. L'association de cet horizon inférieur, d'après H. HUMBERT, compte 90% de *Quercus ilex*, 8-9% de *Juniperus oxycedrus* et 1-2% de *Juniperus thurifera*.

A la partie supérieure de cet horizon et dans le secteur occidental du massif, il apparaît une association intéressante qui vient se substituer latéralement à *Quercus ilex* : c'est l'association à *Cedrus libanotica* ssp. *atlantica*. La limite orientale de répartition de cette espèce semble indiquée par le méridien de Midelt, à l'W. duquel les peuplements, d'abord très clairsemés, deviennent de plus en plus importants, jusqu'à ce qu'ils rejoignent, probablement, ceux du Moyen-Atlas dans la région des sources de la Moulouya. Cette concurrence entre *Quercus ilex* et *Cedrus libanotica* dans certaines vallées est l'expression de conditions d'humidité et de nébulosité particulières, dont la disparition vers l'Est entraîne la régression graduelle de la Cédraie, jusqu'au moment où des conditions trop nettement steppiques empêchent son extension. La limite supérieure de *Cedrus libanotica* se confond, latéralement, avec celle de *Quercus ilex*, cette limite commune est aussi celle, inférieure, de *Juniperus thurifera*.

b) au niveau de l'horizon supérieur, *Juniperus thurifera* est le seul élément arborescent qui subsiste entre 2400 et 3000 m. Il s'y trouve de manière très clairsemée, les individus, dispersés, n'ayant qu'une taille médiocre et souffrant beaucoup des conditions climatiques très rudes. Les xérophytes épineux occupent la première place, dans cet étage de végétation qui s'appauvrit au fur et à mesure de l'altitude.

3) L'étage alpin est marqué par la disparition des xérophytes épineux et de l'ensemble des espèces caractérisant l'étage précédent. Au-dessus

de 3.000 m , les plantes qui les remplacent ne compensent pas numériquement cet appauvrissement.

Pour appuyer l'intérêt que nous devons attacher à l'apparition de la Cédraie très localisée dans le Grand Atlas, nous indiquerons ici le relevé, effectué par L. EMBERGER, sur le flanc nord du Djebel Masker dominant les sources de la Moulouya. L'auteur a noté la succession suivante, que nous citons (1936) :

- un étage à *Stipa tenacissima* (jusqu'à 1650 m. - 1700 m environ)
- un étage à *Juniperus phoenicea* (1650 m. - 1700m à 1750 m -1800 m)
- un étage à *Juniperus phoenicea*, *Juniperus thurifera*, *Quercus ilex* (1800 m - 2000 m)
- un étage à *Cedrus* (2000 m - 2700 m)
- un étage à *Juniperus thurifera* (2700 m. à 3000 m. - 3150 m)
- un étage de haute montagne (à partir de 3150 m)

On exprimera deux remarques au sujet de cet étagement :

- la ceinture de *Juniperus phoenicea* semble ici bien différenciée indépendamment de l'association du *Quercus ilex*.

- l'étage de *Cedrus* prend sa place, dans cette succession, comme une zone également bien différenciée et il apparaît, sur la figure que donne L. EMBERGER de cette zonation (1936, figure 4), une Cédraie pure dans laquelle *Quercus ilex* est très subordonné. La succession des étages semble presque mieux affirmée que dans l'Ari Ayachi.

En conclusion de ces schémas que nous avons donnés de la répartition de la végétation forestière dans le Grand Atlas, nous emprunterons à H. HUMBERT ce qu'il a noté à propos des analogies ou des différences entre les deux parties, occidentale et orientale de cette chaîne :

- a) On doit reconnaître, commune à l'ensemble du Grand Atlas, la présence d'une ceinture forestière de *Quercus ilex* entre 1300 m et 2.450 m

surmontée, jusqu'à 3000 m environ, de peuplements clairsemés de *Juniperus thurifera*, apparaissant à peu près à mi-hauteur de cet horizon. Le peuplement végétal de cette haute montagne est presque toujours ouvert, ne formant qu'exceptionnellement un dôme de végétation continu.

b) Les différences, quant à la végétation forestière, entre les deux extrémités de la chaîne, sont au nombre de deux essentiellement :

- *Cedrus* manque dans le Grand Atlas occidental alors qu'il se développe dans l'étage montagnard du Grand Atlas oriental, lorsqu'il bénéficie de conditions d'humidité et de nébulosité favorables.

- Les étages inférieurs ne sont pas comparables de part et d'autre de la chaîne. Dans le Grand Atlas oriental, les pentes des montagnes plongent, à une altitude relativement élevée (1600 m), dans la steppe à alfa qui représente alors un étage basal. Dans le Grand Atlas occidental, les pentes s'abaissent à des altitudes bien inférieures et l'on reconnaît, en-dessous de l'étage montagnard, au moins deux étages dont le plus inférieur est celui d'*Argania sideroxylon*, *Ziziphus lotus*, *Acacia gummiifera*, auquel succède un étage à *Chamaerops humilis*, *Callitris articulata* et même *Juniperus phoenicea*.

II - VEGETATION DES MONTAGNES DE L'ATLAS SAHARIEN OCCIDENTAL ET DE LA VALLEE DU HAUT GUIR.

En 1928, H. HUMBERT publie le résultat de l'exploration botanique des basses montagnes qui séparent le haut massif de l'Ari Ayachi, extrémité orientale du Grand Atlas marocain, des montagnes du Sud-oranais. Ces chaînes sub-parallèles et sensiblement orientées d'W. en E., constituent également une région intermédiaire entre la plaine saharienne au Sud et les Hauts-Plateaux vers le Nord. Zone de transition du point de vue géomorphologique, cette région l'est aussi quant à son peuplement végétal. C'est au coeur de ces massifs d'altitude généralement peu élevée, séparant des plaines intérieures parcourues par des oueds, que se rencontrent deux types de forma-

tions steppiques : la steppe méditerranéenne à alfa (*Stipa tenacissima*) caractéristique des Hauts-Plateaux, occupant ici les plaines intérieures et les pentes les plus élevées d'une part, d'autre part la steppe saharienne désertique, telle que nous l'avons décrite dans notre étude botanique de la région de Béni-Abbès et qui colonise les plaines d'altitude inférieure et les pentes les plus basses. Du point de vue phytogéographique ce territoire est un peu complexe, car ces deux types de formations steppiques s'affrontent à une altitude qui peut varier de 1200 m. à 1600 m. Elles se juxtaposent, ou se chevauchent, en fonction des conditions locales : altitude, nature pétrographique du substrat, exposition par rapport aux vents du Sud, habitats privilégiés à la faveur d'oueds et de ravins, etc.

Les grands traits caractérisent la végétation de cette région semblent se dégager de la façon suivante, si l'on rassemble les observations faites par H. HUMBERT en différentes localités :

1) la steppe saharienne pure, qui réunit un certain nombre d'espèces devenues familières par l'étude que nous en avons faite en région plus méridionale, atteint l'altitude de 1000 m - 1100 m. Elle s'étend dans les plaines inférieures, au pied des basses montagnes qui la dominent souvent faiblement. Cette plaine est colonisée entre autres espèces, par *Anabasis aretioides*, *Haloxylon articulatum*, *Anvillea raddiata*, *Zilla macroptera*. C'est une steppe généralement clairsemée, où l'espacement entre les individus qui la composent peut atteindre 1 m. à 4 m. Elle est sillonnée de ravins abritant des oueds temporaires, au bord desquels *Pistacia atlantica*, *Olea europea*, *Ziziphus lotus*, espèces plus ou moins arborescentes, forment des couloirs de végétation relativement lâche, mais dont la présence est frappante dans la physionomie de ces plaines à caractère désertique.

2) à partir de 1200 m apparaît l'alfa et c'est entre 1200 m et 1600 m. environ que vont coexister les espèces caractéristiques des deux types de steppe, formant une végétation mixte, un faciès de transition qui occupe les pentes supérieures des basses montagnes et les plaines intérieures du Gourrama et de Rich entre autres, ces dernières se situant aux alentours de 1300 m d'altitude et correspondant respectivement aux hautes vallées

du Guir et du Ziz (affluent de la Daoura), dont l'origine nous intéresse particulièrement dans cette étude. Ce groupement mixte, constitué d'espèces sahariennes (*Anabasis*, *Haloxylon*, *Anvillea* etc.), d'espèces de la steppe méditerranéenne (*Stipa*, *Artemisia herba-alba*, cette dernière déjà présente dans la steppe saharienne mais atteignant ici son plein développement) s'enrichit vers 1200 m de *Juniperus phoenicea* très clairsemé. Son extension vers le Nord atteint les plaines qui bordent le versant méridional du Haut Atlas oriental, en direction de l'Ari Ayachi.

Du point de vue climatique, la plaine de Rich (haute vallée du Ziz) très proche du massif de l'Ayachi, se situe entre les isohyètes 200mm et 300mm, et R. CAPOT-REY (1953, p. 487) note, pour la période s'étendant entre 1931 et 1945, une valeur moyenne annuelle de la pluviosité de 238,5 mm. Le cortège de végétation précédemment reconnu dans les ravins et les lits d'oueds, se retrouve dans toutes les régions que couvre ce type de végétation. Dans les gorges du Ziz, en bordure même de la plaine saharienne, l'association ripicole compte, outre les espèces précédemment citées, *Pistacia lentiscus* et *Ceratonia siliqua*, essences qu'il est intéressant de noter ici.

3) au Nord de la plaine du Gourrama, le massif de l'Aït Mesrouh apparaît comme le prolongement vers l'Est de l'Ari Ayachi. Au sein de ce massif, le Djebel Mesrouh (2700 m), montagne la plus élevée du Haut-Guir offre, à l'exclusion de l'étage alpin, plusieurs étages de végétation que l'on pourrait comparer à ceux décrits sur l'Ari Ayachi, si le caractère steppique et sub-désertique de cette région n'empêchait d'en définir des limites bien nettes. Sur les pentes de ce djebel, tandis que s'estompe vers 2000 m la steppe à alfa, apparaissent *Juniperus phoenicea*, *Juniperus oxycedrus* qui atteignent l'altitude 2500 m. C'est alors que se développe, sur le flanc nord du Djebel seulement, un peuplement de *Quercus ilex* var. *ballota*, à l'altitude 2300 m. Le versant sud, trop exposé aux vents en est dépourvu. A 2550 m d'altitude quelques individus de *Juniperus thurifera* sont présents. Toutefois H. HUMBERT remarque combien la rareté des arbres et leur espacement sont tels que la montagne semble dépourvue de végétation arborescente. Le cèdre en est totalement absent.

Dans les montagnes un peu plus basses, situées au Nord du Djebel Mesrouh, apparaît, à des altitudes un peu inférieures, une strate arborescente probablement relictuelle d'une forêt-steppe anciennement mieux développée. De beaux peuplements de genévriers (*J. phoenicea* dominant, *J. oxycedrus* et *J. thurifera* clairsemés) ont été rencontrés, mêlés sur le flanc nord seulement, de *Quercus ilex* et de *Pinus halepensis*, cette dernière essence étant actuellement considérée comme une grande rareté.

III - VEGETATION DES MONTAGNES DU SUD-ORANAIS.

L'exploration botanique de quelques-uns des massifs du Sud-oranais a permis à R. MAIRE (1916), de définir pour cette région un étagement des essences forestières qui lui est propre, étant donné son éloignement des montagnes du Haut-Atlas et sa situation, privilégiée par rapport aux chaînes montagneuses plus occidentales étudiées par H. HUMBERT (1928) et défavorisée par rapport aux montagnes de l'Atlas tellien. Les monts du Sud-oranais, situés entre les hautes plaines septentrionales couvertes d'alfa et la plaine saharienne, jouissent de conditions climatiques relativement favorables. S'élevant à une altitude généralement supérieure à 2000 m, ces massifs, gréseux pour la plupart, calcaires exceptionnellement, condensent sur leurs versants exposés à l'W. et au N., l'humidité que n'ont pas retenue les hautes chaînes de l'Atlas marocain ou celles de l'Atlas tellien. Aussi reçoivent-ils des précipitations non négligeables, l'hiver et au printemps, ainsi que des pluies d'orage l'été. L'enneigement également n'est pas rare sur ces quelques sommets, durant quatre ou cinq mois d'hiver.

A la suite des résultats de l'exploration botanique des massifs étudiés par R. MAIRE, nous retiendrons deux points qui nous semblent synthétiser ses observations :

1) Le mode d'étagement de la végétation forestière, qui se retrouve sur l'ensemble des massifs, se dégage très nettement de l'exploration des versants nord et sud du Djebel Mzi, massif le plus méridional qui ait été étudié et dont le flanc sud s'élève à la limite même du désert, à partir de

la plaine saharienne. R. MAIRE en a précisé ainsi les différentes zones de végétation :

a) la plaine saharienne, qui s'étend au pied du djebel, est colonisée par la steppe désertique à *Haloxylon articulatum*, *Anabasis aretioides*, *Zilla macroptera*, *Ephedra alata*, etc.

b) sur les pentes inférieures subsistent encore quelques essences désertiques bien que ce soit déjà ici le domaine de l'alfa, représentant dans les montagnes de cette région un étage inférieur de végétation à caractère steppique.

c) une forêt ouverte, très clairsemée, à *Juniperus phoenicea* dominant, se situe entre 1400 m - 1.500 m et 1700 m - 1800 m, comme un étage de végétation moyen au niveau duquel la strate herbacée compte encore l'alfa.

d) l'apparition de *Quercus ilex* var. *ballota* marque l'étage de végétation supérieur, *Quercus ilex* ne dominant une strate arbustive à *Juniperus phoenicea* et *Juniperus oxycedrus*, qu'à partir de 1900 m - 2000 m environ. Cette schématisation est valable pour la majorité des massifs parcourus, à la précision près des limites altitudinales qui varient, en premier lieu, en fonction de l'exposition des versants. Sur les montagnes calcaires toutefois, l'étage forestier supérieur est mal différencié. Malgré son caractère exceptionnel, il n'est pas sans intérêt de signaler la présence de *Pinus halepensis* dans la vallée plus septentrionale de l'Aïn Aïssa. Ce dernier intervient comme un concurrent au sein de l'étage du *Quercus ilex*, qu'il domine à la partie supérieure de cet étage, avant d'être éliminé par lui à plus haute altitude. Nous relevons l'importance de cette observation de R. MAIRE qui considère, à la suite de B.P.G. HOCHREUTINER, cette forêt de *Pinus halepensis* comme une relique, "cantonnée dans une localité privilégiée, de forêts plus importantes qui ont dû couvrir jadis une bonne partie des montagnes du Sud-oranais concurremment avec *Quercus ilex*, *Juniperus phoenicea* et *Juniperus oxycedrus*".

2) Un large intérêt doit être apporté aux associations propres aux lits d'oueds et aux ravins humides, très fréquents dans cette région si riche en sources permanentes. Dans ces forêts-galeries plus ou moins denses, *Pistacia atlantica* est le plus souvent dominant mais son cortège d'arbres et arbustes est varié : *Olea europea*, *Ceratonia siliqua*, *Juniperus phoenicea*, *Fraxinus xanthoxyloides*, *Acer monspessulanum*, *Erica arborea*, *Pistacia terebenthus*, *Phillyrea angustifolia*, *Rhus oxyacantha*, *Ziziphus lotus* sont autant d'espèces que l'on rencontre, en plus ou moins grand nombre, suivant les localités et suivant l'altitude, certaines d'entre elles se retrouvant même jusque dans la plaine steppique (*Pistacia*, *Olea*, *Ceratonia*, *Rhus*, *Ziziphus*).

A propos du ravin de l'Aïn-ed-Diss-Foukania, situé dans le Djebel Mekter, à l'altitude 1400 m correspondant à l'étage de végétation moyen, R. MAIRE met l'accent sur le caractère spécial dû à l'humidité, d'une association à *Quercus ilex* et *Pistacia atlantica* dominant, accompagnés d'*Olea europea*, *Juniperus phoenicea*, *Juniperus oxycedrus* et *Ceratonia siliqua*. Il n'était pas sans intérêt de souligner ici la présence de *Quercus ilex* au sein d'un groupement ripicole.

Ainsi se trouve esquissée, la composition de la flore forestière des montagnes du Sud-oranais et son étagement sur les pentes des djebels. Mais pour être fidèle à la pensée de R. MAIRE sur la végétation, au sens large, de cette région il faut encore rappeler qu'il la considère comme un "horst" de végétation méditerranéenne et occidentale, isolé par les hautes plaines steppiques, de l'actuel domaine des montagnes du Tell. R. MAIRE a beaucoup insisté sur le caractère tellien de la flore montagnarde du Sud-oranais qui compte, dans les montagnes gréseuses, 34% d'espèces effectivement communes avec les montagnes du Tell. Ceci pose évidemment le problème de la communauté d'origine de ces flores à propos desquelles, en conclusion, nous ne pouvons mieux exprimer la pensée de l'auteur qu'en nous appuyant sur ses propres affirmations quant au Sud-oranais : "on ne peut comparer les étages de ces montagnes qu'aux portions les plus sèches du Tell. L'étage moyen correspond

à l'étage inférieur de ces montagnes où la forêt de Conifères est ordinairement représentée par des broussailles de *Callitris*, l'étage supérieur à l'étage moyen où croît *Quercus ilex* souvent mélangé à *Pinus halepensis*".

B - PROLONGEMENT OCCIDENTAL DU GROUPE DES MASSIFS LES PLUS VOISINS DU TERRITOIRE SAHARIEN ETUDIE.

I - RELEVES EFFECTUES DANS LE GRAND-ATLAS.

1) Végétation des massifs du Mgoun et du Ghât.

Dans la partie plus orientale du Haut-Atlas, L. EMBERGER en 1932, dans son étude phytogéographique du Mgoun et du Ghât, adopte un mode d'étagement des zones de végétation, basé sur un principe différent de celui qu'ont utilisé R. MAIRE et d'autres auteurs dans l'ensemble de leurs travaux. Sans insister trop longuement sur cette nouvelle orientation que nous aurons l'occasion d'envisager ultérieurement, nous préciserons seulement, que, L. EMBERGER fonde sa classification non plus sur une zonation altitudinale, mais sur des facteurs essentiellement climatiques. C'est la raison pour laquelle nous ne retrouvons pas, chez cet auteur, les étages méditerranéen, montagnard, sub-alpin, alpin au sens de R. MAIRE. Nous nous limiterons ici à parler d'"étage", en faisant appel au minimum de précisions d'ordre climatique nécessaire, nous réservant d'approfondir la pensée de L. EMBERGER, au moment où nous tenterons de synthétiser les traits principaux de la répartition de la végétation forestière, pour l'ensemble des montagnes de l'Atlas.

Au pied des versants des massifs explorés, L. EMBERGER note l'absence de la brousse à *Ziziphus* et *Acacia gummiifera*, que R. MAIRE a relevée dans le Haouz. L'altitude est déjà telle que se développe, sous un climat un peu moins sec, *Chamaerops* qui occupe toutes les altitudes inférieures à 1300 m - 1440 m, au pied du Haut-Atlas. Sur le versant exposé au Sud, *Chamaerops* peut atteindre l'altitude 1800 m - 2000 m : ceci avait déjà été noté par R. MAIRE. C'est ici principalement l'étage de *Juniperus phoenicea*, étage semi-aride, qui, selon les conditions locales de climat et selon l'altitude, peut être concurrencé par *Callitris* plus xérophile et thermophile, donc vers les altitudes les plus basses, mais également par *Pinus halepensis* sur le versant nord du massif. *Pinus halepensis* est ici noté par L. EMBERGER, comme une relique très peu répandue au Maroc occidental atlantique et qui se réfugie au Maroc oriental là où le climat est aussi peu atlantique que

possible. Le cortège floristique de *Juniperus phoenicea* est ici composé de *Juniperus oxycedrus*, *Pistacia lentiscus*, *Chamaerops humilis* et, parmi les éléments les plus thermophiles, *Olea europea*, *Phillyrea media*, *Pistacia atlantica*, *Ceratonia siliqua*. Là où les conditions climatiques sont moins favorables, ce cortège thermophile disparaît et *Juniperus phoenicea* subsiste seul.

L'étage de *Quercus ilex* est bien développé sur les versants exposés au N., dans les montagnes d'altitude moyenne (2200 m) de la périphérie du massif, lorsque celles-ci reçoivent le maximum de pluie. L. EMBERGER note que l'humidité du climat du Haut-Atlas passe par un maximum à 2000 m - 2500 m altitude au-dessus de laquelle la pluviosité diminue. C'est à ce maximum de pluviosité que correspond l'extension de quelques belles futaies de *Quercus ilex* avec sous-bois de *Juniperus phoenicea*, *Juniperus oxycedrus*, *Fraxinus xanthoxyloides*, *Pistacia terebinthus*.

Très généralement, dans cette région sèche du Haut-Atlas, fait suite à l'étage de *Quercus ilex*, celui de *Juniperus thurifera* : sa capacité d'adaptation aux conditions climatiques fait de cette dernière espèce, la seule capable de résister aux froids et à la sécheresse des hautes montagnes marocaines, en deçà de l'altitude 3100 m environ, qui marque le début de la zone asilvatique.

2) Végétation dans la Vallée de l'Ourika.

Dans la partie centrale du Grand Atlas, R. MAIRE (1924) a étudié la répartition altitudinale de la végétation dans la vallée de l'Ourika, située sur le flanc nord du massif et débouchant à 900 m d'altitude dans la plaine steppique du Haouz en direction de Marrakech. Selon la nature géologique du substrat, calcaire au bas des versants puis granitique, gréseux ou schisteux et selon l'exposition des pentes des montagnes qui se dressent au-dessus de la vallée, la composition de la végétation peut présenter quelques variations. Toutefois il est possible de schématiser ainsi le relevé que donne l'auteur :

a) l'étage méditerranéen, à sa base (900 m - 950 m), présente une étroite bande de *Chaemerops humilis* (palmier nain) qui fait suite, à la faveur d'une humidité un peu plus accentuée que dans la plaine, à la brousse à *Ziziphus* de la plaine steppique du Haouz. La forêt à *Callitris articulata* lui succède, dès l'altitude 950 m - 1000 m et jusqu'à 1.200 m - 1300 m , avec un cortège d'espèces à caractère xérophile : *Pistacia lentiscus*, *Phillyrea angustifolia*, *Juniperus oxycedrus*, *Juniperus phoenicea*, *Olea europea*, *Fraxinus xanthoxyloides*. Toutefois la Callitraie peut être dominée, sur les grès principalement, par l'Oléo-lentisque et l'association prend alors la forme d'un maquis méditerranéen un peu moins xérophile que la Callitraie. Elle s'enrichit de la présence de *Quercus ilex*, déjà sur les versants exposés au Sud mais plus encore sur ceux exposés au Nord, dont la végétation se présente comme un faciès de transition entre la forêt méditerranéenne et celle de l'étage montagnard. R. MAIRE souligne dans cet étage méditerranéen une ripisilve à *Populus nigra* et *Populus alba* entre 900 m et 1200 m , ainsi qu'une association de bord de ruisseau plus ou moins temporaire avec *Fraxinus oxyphylla*, *Acer monspessulanum*, *Celtis australis*.

b) l'étage montagnard est celui de *Quercus ilex* (1200m - 1300m à 1800m - 2500m), dans lequel MAIRE distingue un étage inférieur (1200 m - 1600 m) dont la physionomie est encore très voisine de celle du maquis méditerranéen que nous venons de décrire, avec *Pistacia lentiscus*, *Ceratonia siliqua*, *Olea europea*. La partie supérieure de l'étage montagnard (1800 m à 2500 m) est marquée par la disparition de ces dernières, la strate arborescente prenant un aspect bruissonnant avec *Quercus ilex*, *Juniperus phoenicea*, *Juniperus oxycedrus*. Déjà apparaissent quelques individus de *Juniperus thurifera*. La végétation de cet étage montagnard semble assez peu influencée par la nature du substrat, qu'il soit granitique ou gréseux.

c) l'étage sub-alpin ou de *Juniperus thurifera* (1800m - 2300m à 3000m - 3100m) est marqué par la disparition des éléments thermophiles. A la base de l'étage, *Juniperus thurifera* forme des peuplements bien développés, mais avec l'altitude, les arbustes deviennent rabougris et se réfugient

dans les rochers. Dans cet horizon supérieur se développent déjà les xérophytes épineux en coussinets hémisphériques, dont quelques espèces caractérisent l'étage alpin, au-dessus de 3000 m. Ce dernier étage est marqué, du point de vue climatique, par une extrême sécheresse en été et une très longue période, pratiquement sèche, entre la fonte des neiges au printemps et leurs premières chutes en novembre. L'enneigement est faible sur le versant sud, plus abondant sur le versant nord, sans que l'on puisse parler d'un véritable étage nival.

3) Végétation dans le Massif des Seksaoua

Le massif des Seksaoua, le plus occidental de la chaîne du Haut-Atlas, regroupe des montagnes dont les sommets dépassent 3000 m d'altitude. L. EMBERGER (1934) a parcouru cette région et reconnaît à la suite de son exploration botanique la succession des étages de végétation suivants :

- à la base des versants, les pentes sont couvertes d'une savane dégradée à *Acacia gummifera* et *Ziziphus lotus* (versant nord) ou d'une forêt d'arganiers (versant sud). La limite supérieure de cette forêt d'arganiers est d'autant plus élevée que l'exposition est plus méridionale, elle peut atteindre 1250 m, mais s'abaisse jusqu'à 950 m lorsque l'aridité croît.

- à l'étage basal succède l'étage de *Callitris*, auquel se mêle *Juniperus phoenicea* qui, moins thermophile que *Callitris*, occupe de préférence le fond des ravins ou bien, au contraire, la partie supérieure de l'étage. Cette association atteint 1450 m d'altitude, elle compte quelque individus d'*Acacia gummifera* ainsi que *Pistacia atlantica*, *Pistacia lentiscus*, *Ceratonia siliqua*, *Rhus oxyacantha* et parmi les herbacées l'alfa (*Stipa tenacissima*).

L'étage de *Quercus ilex* occupe les dernières pentes boisées de ce massif, entre 1500 m et 2900 m environ. A cet étage, en effet, succède directement celui des xérophytes épineux de haute montagne. Le massif des Seksaoua ne présente pas d'étage à *Juniperus thurifera*, qui constitue, dans les autres massifs, la limite supérieure de la forêt. L. EMBERGER reconnaît

dans ce cas remarquable, l'influence océanique qui s'exerce sur l'ensemble du massif et lui offre un climat trop humide et insuffisamment continental pour que puisse se développer *Juniperus thurifera* qu'il considère comme spécifique, en Afrique du Nord, d'un climat méditerranéen sec et continental.

II - L'ANTI-ATLAS ET LE DJEBEL SAGHO

1) Végétation de l'Anti-Atlas.

La végétation forestière de l'Anti-Atlas est connue, principalement, à travers les publications de R. MAIRE et L. EMBERGER (1933, 1935), dont les résultats ont été rappelés par R. MAIRE et E. WILCZEK (1935), puis par Ch. RUNGS et Ch. SAUVAGE (1944). Dans sa partie occidentale, l'Anti-Atlas est occupé, à la base des montagnes, par la forêt d'arganiers (*Argania sideroxydon*) qui s'étend jusqu'à 1450 m d'altitude. Cet arbre y est, à l'état buissonnant, sur le flanc sud où il descend également en plaine le long des torrents. Sur ce versant méridional, la flore saharienne s'insinue dans la forêt d'arganiers, sans toutefois aller très loin vers l'W. où elle est arrêtée par les influences océaniques. R. MAIRE et L. EMBERGER considèrent que le cortège des plantes qui accompagnent l'arganier présente un cachet nettement tropical, ce qui fait de cet étage où s'interpénètrent la forêt d'arganiers et la flore saharienne "une zone floristiquement et physiologiquement caractérisée par ses traits tropicaux ou sahariens (1935, p. 1810).

Au-dessus de la forêt d'arganiers, entre 1450 m et 1600 m ont été retrouvés des témoins d'une forêt dégradée de *Callitris* comptant, parmi les espèces compagnes, *Pistacia atlantica*, *Chamaerops humilis* et plusieurs espèces du genre *Cistus*.

A partir de 1600 m apparaissent des taillis ou des futaies basses de *Quercus ilex* et de *Juniperus oxycedrus* qui atteignent le sommet du massif. Le peuplement de *Quercus ilex* du Djebel Kest (2300 m) est le plus méridional que l'on connaisse dans les montagnes d'Afrique du Nord. La présence de *Juniperus phoenicea*, dans les Aït Abdellah, est rapportée par Ch. RUNGS et Ch. SAUVAGE (1944).

Le caractère méditerranéen de la zone forestière à *Callitris*, puis à *Quercus ilex* et *Juniperus*, contraste avec la nuance tropicale que l'on reconnaît dans l'association de l'arganiaie sous-jacente.

2) Végétation du Djebel Sagho

L'exploration botanique du Djebel Sagho est due à L. EMBERGER (1933). Ce massif émerge au-dessus de la plaine saharienne, entouré par le désert de tous côtés, dans l'angle que forment l'Oued Dadès et le cours supérieur de l'Oued Dra. Son sommet atteint 2715 m d'altitude et le massif se situe dans une zone de pluviosité de 300 mm. environ. Au bas des pentes montagneuses, la végétation désertique disparaît et l'alfa (*Stipa tenaxissima*) envahit les versants, présentant, entre 1600 m. et 1800 m., un développement comparable à celui des steppes des hautes plaines algéro-marocaines. Suivant la nature du sol *Artemisia herba-alba* peut localement remplacer l'alfa dans ces grandes étendues steppiques.

Au-delà de 1800 m d'altitude se développe l'étage forestier à *Juniperus phoenicea* auquel se joint fréquemment *Fraxinus xanthoxyloïdes*. Cette association, dont la steppe à alfa n'est pas exclue suivant les conditions locales, atteint 2400 m d'altitude. A cette limite, l'étage de *Juniperus phoenicea* se trouve directement au contact de celui de *Juniperus thurifera* qui occupe toute la partie supérieure du massif. L. EMBERGER souligne toute l'importance de cette juxtaposition de deux étages qui, le plus fréquemment, sont séparés par un étage de *Quercus ilex*. Pour l'auteur, "le massif du Sagho est un exemple remarquable de contraction d'étages de végétation sous l'influence de la sécheresse" (*loc. cit.*, p. 2023). Bien qu'isolé par le désert de la Chaîne du Haut-Atlas, le massif du Sagho est un massif méditerranéen du point de vue floristique. Malgré son altitude deux seuls étages s'y distinguent : un étage aride à alfa et un étage semi-aride à *Juniperus phoenicea*, *Juniperus thurifera* et *Fraxinus xanthoxyloïdes*. Ces deux étages lui confèrent, quant à son peuplement végétal, une parenté avec le Haut-Atlas et l'Anti-Atlas.

III - VEGETATION FORESTIERE DANS LE MOYEN-ATLAS ET BREVE INCURSION DANS LE RIF.

Nous n'avons pu rassembler qu'assez peu de documents sur la flore forestière du Moyen-Atlas. Ce que nous en connaissons, à travers les travaux de J. BRAUN-BLANQUET et R. MAIRE (1921, 1924) et de R. MAIRE (1924) montre déjà combien la végétation de ce massif répond à des conditions climatiques nettement plus favorables que dans le Grand-Atlas. Du point de vue géomorphologique, la plus grande partie du Moyen-Atlas présente un aspect tabulaire : ce plateau calcaire atteignant une altitude voisine de 1800 m , souvent recouvert d'importantes coulées basaltiques, est cependant dominé par des chaînes élevées dont l'altitude au sommet est proche de 3200 m. R. MAIRE reconnaît théoriquement trois étages de végétaux :

1) L'étage méditerranéen basal est peuplé de *Chamaerops humilis*.

2) L'étage montagnard présente une strata arborescente à *Quercus ilex*, *Cedrus libanotica*, *Acer monspessulanum* auxquels se joint *Quercus lusitanica* var. *maroccana*. La présence de ce dernier ne doit pas être considérée toutefois comme une caractéristique de l'étage montagnard. Cette espèce du genre *Quercus* est plus directement liée aux conditions climatiques et édaphiques; en terrain calcaire en effet, *Quercus lusitanica* fait place à *Quercus ilex* et se localise dans les dépressions humides à sol décalcifié, où subsistent une certaine humidité et une certaine fraîcheur, même en été. R. MAIRE fait remarquer combien, sans la présence de *Quercus ilex*, espèce méditerranéenne, cette association donnerait facilement l'illusion que l'on a affaire à une forêt d'Europe moyenne. Dans leur publication commune, J. BRAUN-BLANQUET et R. MAIRE font apparaître plus nettement la différenciation fréquente, dans le Moyen-Atlas, d'une zone de transition à *Quercus lusitanica* entre l'étage de *Quercus ilex* et celui de *Cedrus*. Ils insistent sur l'existence de beaux peuplements purs de ces trois espèces et sur le remarquable et fréquent développement de chênaies de *Quercus ilex*, sous forme de futaies denses. Composées d'individus particulièrement vigoureux, au feuillage abondant, elles abritent un sous-bois aux espèces héliophobes,

dans lequel aucun rayon de lumière n'arrive directement au sol. Ces chênaies sont particulières au Moyen-Atlas et ne présentent aucun développement comparable en Europe.

Dans cet étage montagnard, non moins intéressante est l'association qu'abritent les gorges et les ravins, si fréquents dans ce massif calcaire. Le relevé effectué dans les gorges du Ras-el-Ma (1500 m) est tout à fait suggestif. Dans un contexte humide et froid, une végétation luxuriante comptant quelques espèces septentrionales s'y cantonne, ainsi que dans quelques stations climatiquement homologues : l'association ripicole à *Fraxinus xanthoxyloides* et *Acer monspessulanum*, souvent rencontrée dans le Grand-Atlas, s'enrichit ici de *Taxus baccata* et *Ligustrum* qui voisinent avec *Quercus ilex*, présent sur les pentes une dizaine de mètres au dessus du ravin. Si l'on étend l'étude de la végétation de cet étage montagnard au-delà de la strate arborescente, les auteurs notent que 60% des plantes sont des médio-européennes et que l'endémisme est à peu près nul. Pour R. MAIRE, ce type de forêt si riche en médio-européennes, déterminé par des conditions climatiques privilégiées, dénote un caractère relictuel certain. Il suggère la survivance, à la suite du Quaternaire, d'éléments d'une ancienne formation forestière qui se serait très largement étendue sur le Moyen-Atlas à la faveur de conditions d'humidité supérieures à celles qui y règnent actuellement. La découverte de *Taxus baccata* dans cette flore est un élément tout à fait intéressant. Cette espèce précisément, présente un caractère de relique : elle apparaît comme un élément survivant d'une ancienne flore euro-sibérienne, actuellement très éloigné des localités européennes à partir desquelles il aurait immigré dans le passé, grâce à des conditions climatiques plus propices que celles actuelles (J. BRAUN-BLANQUET et R. MAIRE, 1924).

3) L'étage sub-alpin est celui de *Cedrus libanotica* qui forme, sur les basaltes comme sur les calcaires, de beaux peuplements. Comme nous le notions précédemment, les Cédrales pures sont fréquentes mais il n'est pas rare non plus de rencontrer encore *Quercus ilex* subordonné au Cèdre dans cet étage. Dans le Moyen-Atlas oriental l'assèchement du climat est marqué par

l'apparition de *Juniperus thurifera* qui, par contre, fait totalement défaut sur le versant occidental du massif. Sur le plateau du Moyen-Atlas occidental, les auteurs ont noté la disparition de *Cedrus* dont quelques reliques, dispersées çà et là, signifient qu'il ne s'agit que d'une dégradation due à l'intervention de l'homme. La végétation revêt alors l'aspect de pâturages alpins.

Ainsi, le climat et la variété des stations font de la flore du Moyen-Atlas, une flore plus riche que celle du Grand-Atlas. Sur son versant nord-ouest, la quantité de pluie annuelle reçue par le plateau atteint les valeurs de 700 mm à 900 mm augmentant même sur les montagnes qui la dominent. La nébulosité y est accentuée. Le versant sud-est par contre est moins arrosé, ne recevant que 500 mm à 600 mm de pluies, ce qui permet à l'alfa d'atteindre l'altitude 1800 m à 1900 m. La nébulosité sur ce versant est faible. A cette différence climatique est liée une différence dans la répartition des espèces. Le versant sud-est possède des espèces en commun avec le Grand-Atlas et manquant au nord-ouest : c'est le cas de *Juniperus thurifera*. Par contre sur le versant nord-ouest s'abritent des espèces mésophiles qui sont absentes du Grand-Atlas : *Pinus pinaster* par exemple. L'installation de cette végétation mésophile est favorisée par l'existence des profonds ravins qui entaillent le massif : rien de comparable n'est observé dans le Grand-Atlas.

A partir du Moyen-Atlas, une brève incursion dans le Rif nous permet, sans entrer dans le détail du peuplement végétal de cette région, d'y situer, dans les montagnes recevant suffisamment de pluies, des espèces présentant un très grand intérêt dans le cadre de cette étude : ce sont *Pinus laricio* (*Pinus nigra*, ssp. *laricio*, var. *mauretanica*) et *Betula alba*. Cette dernière est exclusive de ces montagnes. Egalement présent, *Quercus pyrenaica* (= *Q. tozae* = *Q. cerris*) ne se retrouve nulle part ailleurs dans l'Atlas, mais son extension est un peu plus méridionale que celle des deux autres espèces, débordant vers le Sud les montagnes du Rif (L. EMBERGER et R. MAIRE, 1934). *Pinus pinaster* existe dans cette région. Enfin, *Alnus glutinosa*, commun au Rif et à la région de Tanger, n'y est pas strictement localisé : nous le verrons apparaître dans la flore forestière de Numidie en Algérie.

C - PROLONGEMENT ORIENTAL DU GROUPE DES MASSIFS LES PLUS VOISINS DU TERRITOIRE SAHARIEN ETUDIE : L'ALGERIE ET SA VEGETATION FORESTIERE.

En étudiant la végétation des montagnes du Sud-oranais et des chaînes intermédiaires entre ces dernières et le Grand-Atlas oriental, nous sommes restés dans le domaine le plus occidental de l'Atlas saharien.

La carte phytogéographique de l'Algérie et de la Tunisie, dressée par R. MAIRE (1925), ainsi que la Notice qui l'accompagne nous apportent non plus des relevés de végétation en des localités précises, mais des indications d'ensemble sur le peuplement végétal, en Algérie notamment. R. MAIRE a divisé ce territoire en domaines et secteurs botaniques. Au domaine maurétanien méditerranéen, qui correspond approximativement aux régions côtières à saison sèche courte et saison humide peu froide (pluviosité minimum : 400 mm, mais atteignant plus souvent 700 mm et davantage), il oppose le domaine maurétanien steppique, intérieur, à climat continental, saison sèche longue et saison pluvieuse peu régulière (pluviosité : 300 mm à 500 mm), groupant enfin dans un domaine des hautes montagnes atlantiques les étages sub-alpins des montagnes du Tell, du Hodna, des Aurès.

Parmi les différents secteurs composant ces domaines, nous rappellerons ceux dont la végétation retient notre intérêt :

- dans le domaine maurétanien steppique, R. MAIRE signale, sur les montagnes environnant les Hauts-Plateaux orano-algérois et constantinois, des peuplements assez peu denses de *Quercus ilex*, *Juniperus phoenicea*, *Pinus halepensis*. La région orano-algéroise des Hauts Plateaux reçoit en moyenne 300 mm. à 400 mm de pluies annuelles : elle est peuplée d'immenses steppes à alfa, sparte et armoise et dans les "dayas", de *Ziziphus* et *Pistacia atlantica*. Le secteur de l'Atlas saharien (350 mm à 550 mm), à l'W. des montagnes que nous avons étudiées dans le Sud-oranais, a lui-même une vocation forestière. L'espèce dominante de ces forêts est *Juniperus phoenicea*, mais *Quercus ilex* et *Pinus halepensis* y sont encore abondants : nous nous souvenons du caractère exceptionnel et relictuel donné à la présence de *Pinus*

halensis dans les montagnes plus occidentales de ce secteur. Les mêmes espèces se retrouvent dans les basses montagnes du Sud-constantinois.

Il apparaît donc que, dans toute cette région sèche de l'Algérie, les conditions climatiques sont peu favorables au développement d'une flore forestière luxuriante et variée. Les quelques essences xérophiles qui s'y rencontrent se réfugient dans les montagnes; leur nombre est restreint : ce ne sont guère que *Juniperus phoenicea*, *Quercus ilex*, *Pinus halepensis* et quelques *Callitris*.

- dans le domaine maurétanien méditerranéen, un secteur tellien méridional se distingue nettement des autres secteurs plus humides, par son climat continental sec et une saison sèche prolongée. La quantité d'eau reçue variant entre 400 mm et 700 mm permet encore le développement de très rares peuplements de *Quercus suber*, mais le rôle important dans la flore forestière, est tenu par les espèces xérophiles présentes dans le domaine steppique. Ce secteur, bien qu'appartenant au domaine méditerranéen est beaucoup plus proche par sa flore du domaine steppique et de l'Atlas saharien.

Dans le massif du Djurjura, à Tikjda, une station algérienne de *Pinus laricio* Poiret. (= *P. elusiana* ssp. *mauretunica* Maire et Peyer) est notée par P. QUEZEL et S. SANTA (1962, p. 39). Elle nous a été signalée également par M. FAUREL (communication orale, 1970).

Dans ce même domaine, le secteur qui retient tout particulièrement notre attention est le secteur numidien : il représente la zone la plus arrosée du littoral algéro-tunisien, avec des chutes de pluies annuelles atteignant 1.500 mm. C'est dans cette région que l'on rencontre de très beaux peuplements de *Quercus suber* (sur sols siliceux), de *Quercus afares* (endémique d'Algérie et de Tunisie). *Pinus pinaster* y est également présent et nous ne l'avons trouvé par ailleurs que dans le Rif et le Moyen-Atlas. Dans ce secteur exclusivement, est connu, à l'état spontané, le genre *Castanea*, sur le massif de l'Edough; il fait défaut partout ailleurs en Afrique du Nord. C'est également en Numidie que croît *Alnus glutinosa*, uniquement retrouvé dans les montagnes du Rif et la région de Tanger. Tout l'intérêt que comporte la présence de ces deux dernières espèces dans une région climatiquement si privi-

légée, très éloignée des massifs montagneux les plus proches du Sahara, ne devait pas manquer d'être notée.

- au domaine des hautes montagnes atlantiques nous l'avons vu, R. MAIRE rattache les sommets du Tell, du Hodna et des Aurès. Les hivers rigoureux avec enneigement prolongé, la nébulosité considérable apportant pluies et brouillards, font de cette région le domaine de la cédraie.

D - CONCLUSIONS.

Guidée par la nécessité de préciser la localisation actuelle, en Afrique du Nord, des essences forestières dont l'analyse pollinique nous révélera la présence au Néogène, puis au Quaternaire, nous avons été amenée à rechercher le maximum de documents botaniques sur l'ensemble des montagnes de l'Atlas. Le travail que nous avons fait ici est loin d'être exhaustif; il reste bien des publications dont nous n'avons pu prendre connaissance; par ailleurs, nous avons pensé qu'il serait sans beaucoup d'intérêt d'approfondir davantage la connaissance de la végétation du Maroc septentrional. Dans la mesure du possible, nous nous sommes d'une part limitée aux massifs bordant la plaine saharienne et nous n'avons pas hésité à parcourir l'Atlas d'W. en E., même si son extension paraît démesurée au regard du petit territoire saharien concerné par notre étude palynologique. Nous avons d'autre part été conduite à insister sur certaines régions, bien éloignées des marges sahariennes (Moyen-Atlas, Rif, Numidie), mais dont la végétation forestière nous a paru de première importance quant au problème de la présence dans nos sédiments de pollens d'espèces à caractère nettement mésophile et médio-européen. Nous nous excusons de ces exposés propres à chacun des massifs étudiés, introduisant un certain nombre de détails, de redites, *a priori* inutiles, concernant des associations n'ayant plus d'intérêt immédiat : les étages alpin et de haute montagne par exemple. Nous avons déjà exprimé, en introduction, le caractère propre et original de la végétation en chacune des régions envisagées, ce qui nous avait fait craindre que tout essai de synthèse soit artificiel et ne réponde pas à la réalité des faits observés.

Il n'en reste pas moins qu'il est possible, au terme de cette analyse, de schématiser les traits essentiels qui se dégagent de l'étude botanique détaillée que nous avons faite, après quoi il paraît opportun de présenter la position soutenue par L. EMBERGER dans son "Essai d'une classification des groupements végétaux" (1930) qui fut suivi des "Remarques critiques sur les étages de végétation dans les montagnes marocaines" (1936).

Ici semble-t-il, nous nous devons de faire brièvement état d'une plus récente mise au point faite par l'auteur et que rapporte H.N. LE HOUEROU (1959). L'intérêt de cette dernière, est de venir étayer les données, antérieurement publiées, de précisions relatives au facteur "pluviosité".

Ce rappel de la pensée de L. EMBERGER viendra clore ce chapitre, en récapitulant ce que nous n'avons pu nous-même synthétiser, à partir des travaux d'auteurs qui se sont basés sur des critères de classification différents de ceux utilisés par L. EMBERGER lui-même. Par ailleurs nous ne pouvions dresser un aperçu de la flore d'Afrique du Nord en le fondant exclusivement sur le travail de L. EMBERGER, ce qui nous entraînait à un exposé d'ordre très général devant exclure les faits d'observation concrets. Nous avons préféré conserver à la pensée de cet auteur un caractère de conclusion.

I - LES TRAITS ESSENTIELS DE LA VEGETATION FORESTIERE DANS L'ENSEMBLE DES CHAINES DE L'ATLAS.

1) En rassemblant dans un même groupe les montagnes méridionales qui dépendent du massif de l'Ari Ayachi, les montagnes les plus occidentales de l'Atlas saharien et celles du Sud-oranais, nous avons isolé semble-t-il, une région dont la végétation reflète, de façon particulièrement frappante, le contact entre la zone d'influence méditerranéenne au N. et celle d'influence désertique au S. Dans ces montagnes, la steppe saharienne atteint 1100 m à 1200 m d'altitude faisant alors place à la steppe à alfa qui colonise les pentes jusqu'à 1600 m - 1800 m. Ce n'est qu'à cette altitude qu'émerge de la steppe d'alfa, une végétation forestière plus ou moins clairsemée suivant les massifs, marquée d'abord par une ceinture de *Juniperus phoenicea* qu'accompagne *Juniperus oxycedrus* et à laquelle fait suite, sur les versants exposés au N., une zone de *Quercus ilex*. Ceci a été observé dans le Djebel Mesrouh, au N. de la plaine de Courrama que traverse la haute vallée du Guir. Ceci est vrai également dans l'ensemble des montagnes du Sud-oranais, où *Quercus ilex* ne paraît pas absent toutefois des versants

exposés au S., comme semble le montrer l'étagement de la végétation sur les deux versants du Djebel Mzi, dont le flanc S. domine la plaine désertique. A propos de la végétation de ces montagnes nous rappellerons :

a) la présence de *Pinus halepensis*, signalée comme une grande rareté en deux localités : dans une vallée des basses montagnes situées au N. du Djebel Mesrouh et dans la vallée de l'Aïn Aïssa, dans le Djebel Aïssa, déjà septentrional par rapport au Djebel Mzi. Rappelons l'intérêt suscité par la découverte de *Pinus halepensis*, que R. MAIRE considère comme une relique d'une formation anciennement plus étendue dans le Sud-oranais et probablement au-delà.

b) l'intérêt tout particulier qu'il faut attacher au cortège floristique propre aux ravins et aux lits d'oueds. Dans les montagnes, cette végétation ripicole groupe un certain nombre d'espèces, *Pistacia lentiscus*, *Pistacia terebenthus*, *Erica arborea*, *Phillyrea angustifolia*, *Phillyrea media*, *Fraxinus xanthoxyloides*, *Acer monspessulanum*, certaines plus thermophiles descendant jusque dans la plaine désertique : *Pistacia atlantica*, *Olea europea*, *Ceratonia siliqua*, *Rhus oxyacantha*, *Ziziphus lotus*.

c) le caractère tellien, que R. MAIRE reconnaît dans la flore du Sud-oranais, et le parallélisme qu'il établit avec les étages de végétation des montagnes du Tell.

2) En étudiant l'étagement de la végétation forestière en différents massifs du Grand-Atlas : Ari Ayachi, massif du Mgoun, vallée de l'Ourika, massif des Seksaoua, nous avons vu apparaître :

a) un caractère commun à l'ensemble de ces massifs et que l'on peut probablement généraliser à tout le Grand-Atlas : c'est la présence d'une zone forestière de *Quercus ilex*, correspondant à l'étage montagnard de R. MAIRE et qui, entre ses limites extrêmes, peut s'étendre de 1.300 m à 2.400 m d'altitude. Généralement *Juniperus phoenicea* et *Juniperus oxycedrus* sont associés à *Quercus ilex*. Succédant à cette zone, un étage à *Juniperus thurifera*, étage sub-alpin de R. MAIRE, ne fait défaut que dans le massif déjà trop humide des Seksaoua. Dans l'Ari Ayachi, *Juniperus thurifera* est encore mêlé de *Quercus ilex*.

b) les différences entre les deux extrémités de la Chaîne du Grand-Atlas :

- d'une part la présence de *Cedrus*, exclusive du Grand-Atlas oriental. Le cèdre apparaît dans la partie occidentale de l'Ari Ayachi et dans le relevé du Djebel Masker. Son extension est liée, nous l'avons vu, au beau développement des Cédraies dans le Moyen-Atlas.

- d'autre part la différenciation, dans la partie centrale et occidentale du Grand-Atlas, de deux étages de végétation forestière sous-jacents à l'étage montagnard, le plus inférieur dans l'Ari Ayachi. Déjà, dans le massif du Mgoun, la base des versants est couverte de *Chamaerops humilis* et c'est ici principalement l'étage de *Juniperus phoenicea*, qui peut être concurrencé par *Callitris* plus xérophile et thermophile. Dans la vallée de l'Ourika, *Juniperus phoenicea* est par contre subordonné à *Callitris*. Le cortège floristique de cet étage méditerranéen de R. MAIRE est composé de *Pistacia atlantica*, *Pistacia lentiscus*, *Juniperus oxycedrus*, *Olea europea*, *Ceratonia siliqua*, *Fraxinus xanthoxyloides*. Cet étage, inférieur à l'étage montagnard, prend l'aspect d'un véritable maquis méditerranéen.

Dans le massif des Seksaoua, sous-jacent à cet étage méditerranéen est enfin reconnu un étage basal qui, sur le versant nord, est représenté par une savane dégradée à *Acacia gummiifera* et *Ziziphus lotus*. Il lui correspond, sur le versant sud, le développement de la forêt d'arganiers.

Ainsi, en analysant de proche en proche quelques relevés effectués dans la Chaîne du Grand-Atlas, nous avons parcouru une succession complète des étages de végétation, telle qu'elle n'est observée dans aucun des massifs que nous avons étudiés.

3) La répartition des zones de végétation dans l'Anti-Atlas et la Sagho nous montre :

a) l'extension de la forêt d'arganiers dans l'Anti-Atlas et, sur son versant sud, le long des talwegs jusque dans la plaine saharienne. Les

auteurs soulignent l'intrication de la flore désertique avec cette forêt d'arganiers, dont la présence confère à la végétation une nuance tropicale, alors que le caractère méditerranéen apparaît dans les zones sus-jacentes : Callitraie dégradée, puis taillis de *Quercus ilex*.

b) la suppression dans le Sagho, de l'étage de *Quercus ilex*, sous l'influence, en milieu saharien, de conditions de sécheresse très accentuées; de ce phénomène de contraction d'étage résulte le contact direct, lié à l'altitude, des étages de *Juniperus phoenicea* et *Juniperus thurifera*.

4) La végétation des régions sèches de l'Algérie, appartenant au domaine maurétanien steppique, présente un caractère forestier dans les montagnes environnant les Hauts-Plateaux principalement et dans l'Atlas saharien. Dans ces régions, *Pinus halepensis* est largement répandu accompagnant *Quercus ilex*, bien que l'espèce dominante soit *Juniperus phoenicea*. *Callitris* est également présent mais toujours subordonné à *Pinus halepensis* ou *Quercus ilex*.

Très particulière est la végétation de la Numidie, secteur climatiquement le plus favorisé de tout le domaine maurétanien méditerranéen. Nous rappellerons seulement l'intérêt, dans sa flore forestière, d'espèces telles que *Quercus suber*, *Pinus pinaster*, *Castanea*, *Alnus glutinosa*. Les sommets des hautes montagnes du Tell, du Hodna, des Aurès, sont peuplés de ballus cédrains à la faveur de conditions climatiques très spécialement favorables (nébulosité, pluies et brouillards).

5) L'étude de la flore forestière du Moyen-Atlas et les quelques documents que nous avons réunis concernant le Rif, nous ont bien éloignée du domaine saharien. Tout l'intérêt de la connaissance de ces flores réside dans le fait qu'elles nous révèlent la présence d'un pourcentage remarquable d'espèces à caractère médio-européen, qui pour R. MAIRE, représente une survivance d'une flore euro-sibérienne, largement répandue sur cette région au Quaternaire, dans des conditions climatiques plus humides que les conditions actuelles. Comparativement à la flore relativement sèche du Grand-Atlas, celle du Moyen-Atlas est beaucoup plus riche : la cédraie s'y dé-

veloppe abondamment, ainsi que des châtaignes à *Quercus lusitanica* absent du Grand-Atlas. A l'état relictuel, *Taxus baccata* y est présent dans les associations ripicoles. Quant à la flore du Rif, elle compte en montagne *Pinus laricio*, *Betula alba*, *Alnus glutinosa*, espèces dont la persistance en cette région d'Afrique du Nord est pour nous d'un grand intérêt.

II - APERÇU DES ETAGES DE VEGETATION, TELS QUE L. EMBERGER LES DEFINIT EN REGION MEDITERRANEENNE, EN AFRIQUE DU NORD NOTAMMENT.

L'analyse que nous avons faite de la répartition de la végétation dans l'Atlas nous a amenée à parler d'étages méditerranéen, montagnard, alpin, sub-alpin et de haute montagne entre lesquels la distinction est fondée exclusivement sur un facteur altitudinal. C'est à ce principe que s'oppose L. EMBERGER en 1930, lorsqu'il propose pour la région méditerranéenne, un "Essai d'une classification des groupements végétaux", suivi en 1933, d'une "Nouvelle contribution à l'étude de la classification des groupements végétaux", dont il discute le fondement dans ses "Remarques critiques sur les étages de végétation dans les montagnes marocaines" (1936). Notre but ici n'est pas de rapporter toute la démarche de L. EMBERGER pour justifier l'opinion selon laquelle il est en désaccord avec la plupart des auteurs sur l'application d'un principe de classification, valable pour les hautes montagnes européennes et qu'il ne juge plus utilisable pour les montagnes méditerranéennes. Nous dirons seulement que le point fondamental sur lequel repose la critique de L. EMBERGER est l'usage du "concept d'étage basé uniquement sur le principe de la succession altitudinale" ce qui "conduit à mettre en parallèle des groupements végétaux qui ont une signification écologique très différente et n'ont en commun que leur situation altitudinale..", "l'étage n'a alors de valeur que descriptive et régionale" (1936, p. 617). Pour ne donner qu'un exemple, l'auteur note combien il est choquant de voir l'étage sub-alpin caractérisé par *Juniperus thurifera*, dans le Grand-Atlas central, alors qu'il est représenté par *Cedrus* dans le Grand-Atlas oriental. La différence d'exigences écologiques entre ces deux essences est suffisamment suggestive, pour exprimer la position de L. EMBERGER. Pour cet

auteur l'étage de végétation doit être "l'expression du climat, la zonation de la végétation étant avant tout la manifestation de la succession des climats dans l'espace, succession que la présence de reliefs rend particulièrement saisissante" (1936, p. 619). Pour établir cette zonation des climats et des étages de végétation correspondant, l'auteur a défini un "quotient pluviothermique", formule mathématique établie à partir de trois facteurs : pluviosité, température, évaporation, dont la résultante "concrétise la sécheresse du climat dont dépend, en définitive, toute vie végétale sous le climat méditerranéen" (*loc. cit.*, p. 621). De l'établissement de ce "quotient pluviothermique" résulte la distinction de cinq types de climats, tous représentés en Afrique du Nord, notamment au Maroc. A chacun de ces types climatiques répond un étage de végétation groupant des essences bien déterminées. Telle est, sommairement, la succession des climats définis par L. EMBERGER et la zonation de la végétation qui les caractérise :

1) Le climat méditerranéen aride et l'étage de végétation méditerranéen aride.

Le climat est chaud et sec à l'extrême et l'aridité est déterminée par la faiblesse de la pluviosité. L'étage méditerranéen aride forme une large zone en bordure du Sahara. La végétation forestière n'en est pas exclue et présente un aspect de savane clairsemée, avec *Argania sideroxylon*, *Ziziphus lotus*, *Pistacia atlantica*, *Acacia gummifera*. C'est également l'étage de la steppe à alfa.

2) Le climat méditerranéen semi-aride et l'étage de végétation méditerranéen semi-aride.

Les températures sont presque aussi élevées que précédemment, le climat est encore très sec, mais la pluviosité est tout de même supérieure. Dans la partie occidentale de l'Afrique du Nord, la forêt de *Callitris* est l'expression la plus caractéristique de ce climat. Cependant l'étage de végétation semi-aride est aussi le territoire de prédilection de *Pinus halepensis*, *Juniperus phoenicea*, *Pinus pinea*, *Cupressus sempervirens*, que les auteurs considèrent comme des espèces douées d'une grande plasticité qui

les rend capables de s'adapter aux conditions de l'étage tempéré.

L. EMBERGER signale déjà la présence de *Quercus ilex* à la partie supérieure de cet étage, à son contact avec l'étage de végétation tempéré. *Quercus suber* y est exceptionnellement présent. *Pistacia atlantica* ne dépasse pas cet étage.

3) Le climat méditerranéen tempéré et l'étage de végétation méditerranéen tempéré.

C'est le climat que nous connaissons en France méditerranéenne. L'étage de végétation tempéré est celui d'*Olea europea*, *Pistacia lentiscus*, *Quercus suber*. Dans les parties chaudes, *Pinus halepensis* n'y est pas rare et peut y entrer en compétition avec *Quercus ilex*.

4) Le climat méditerranéen humide et l'étage de végétation méditerranéen humide.

La combinaison de températures douces et de conditions de pluviosité maxima fait de ce climat le plus humide des climats méditerranéens et le plus favorable au développement d'un étage de végétation extrêmement riche. C'est le domaine des chênes à feuilles caduques : *Quercus lusitânica*, *Quercus pyrenaica*. *Quercus ilex* y trouve lui-même les conditions les plus favorables au développement de belles futaies. C'est également le domaine de *Cedrus*, *Abies*, *Pinus pinaster*, *Pinus laricio*, *Castanea*. Etranger à l'Afrique du Nord, *Aesculus hippocastanum* est signalé par L. EMBERGER comme une essence appartenant à cet étage, dans le bassin méditerranéen.

5) Le climat méditerranéen de haute montagne et l'étage méditerranéen de haute montagne.

Ce climat est sec, la nébulosité et les pluies sont faibles. Deux sous-étages de végétation doivent être distingués : un sous-étage inférieur correspondant à la limite de la forêt (*Cedrus*, *Abies*, *Pinus*, *Juniperus*), un sous-étage supérieur présentant une végétation de type alpin.

C'est alors que, très rapidement puisque nous allons nous situer hors de toute considération phytogéographique, nous apporterons quelques

éléments complémentaires à la pensée de L. EMBERGER (1942, 1955) rappelée par H.N. LE HOUEROU (1959, pp. 71-72). L. EMBERGER, à partir de données météorologiques fournies pour la période 1900-1950, a précisé sa classification bioclimatique, parallèlement à l'évaluation de quotients pluviothermiques correspondant à des valeurs géographiquement définies de la pluviosité. C'est ainsi qu'approximativement sont déterminées des limites de pluviosité correspondant pour les bio-climats de régions sèches du Nord de l'Afrique, aux valeurs suivantes :

<u>bio-climat</u>	<u>pluviosité</u>
semi-aride supérieur	400 - ? (500 ? - 600 ? mm) (1)
semi-aride inférieur	300 - 400 mm.
aride supérieur	200 - 300 mm
aride inférieur	100 - 200 mm
saharien supérieur	50 - 100 mm
saharien inférieur	20 - 50 mm

La définition des climats et des zones de végétation, tels que les conçoit L. EMBERGER, nous permet ainsi d'attacher une nuance climatique plus précise aux associations dont il a été souvent question dans l'analyse de la végétation des montagnes de l'Atlas. Nous ne pouvions aborder directement la pensée de L. EMBERGER sans envisager une étude de la végétation au niveau concret de l'exploration botanique. Il nous est apparu, que ces deux voies de connaissance de la répartition de la flore forestière, devaient pouvoir se compléter l'une l'autre.

(1) Les valeurs de la pluviosité correspondant au bio-climat méditerranéen sub-humide (= "tempéré" probablement dans la précédente classification sont légèrement supérieures à 600 mm.

CHAPITRE V

SYNTHESE DES TRAVAUX EFFECTUES EN PALYNOLOGIE SAHARIENNE

Les recherches palynologiques qui font l'objet de ce mémoire concernant le Sahara nord-occidental, se situent dans le contexte de travaux dont les débuts remontent à une quinzaine d'années maintenant. Le tout premier centre d'intérêt, celui aussi qui, à l'origine, laissa présumer des résultats les plus prometteurs, fut le Sahara central. Le domaine des prospections fut ensuite très vite élargi, au Sahara méridional principalement. Quelques résultats sont connus en Tunisie pré-saharienne, mais peu au Sahara septentrional. Un historique de l'ensemble de ces recherches et un rappel de leurs résultats apparaîtront ici comme une sorte de contexte paléofloristique indispensable, dans lequel viendront prendre place les données recueillies dans un domaine plus récemment exploré au Sahara nord-occidental.

A - AU SAHARA CENTRAL ET MERIDIONAL

I - RECHERCHES PALYNOLOGIQUES DE A. PONS, P. QUEZEL ET C. MARTINEZ.

C'est à A. PONS et P. QUEZEL (1956-1958), puis à P. QUEZEL et C. MARTINEZ (1958), que nous devons les toutes premières tentatives d'analyses palynologiques de sédiments de régions arides, analyses dont certains résultats furent communiqués dès 1956. C'est principalement au Sahara central puis méridional que se situent les travaux de ces auteurs, bien que quelques incursions furent faites en région plus septentrionale. A cette première série de travaux, qui s'échelonnent entre 1956 et 1962, nous nous attacherons tout d'abord, reconnaissant en ces recherches les prémices de la palynologie saharienne. En vérité, pour dresser un tableau qui rassemble l'essentiel des données que nous devons à ces différents auteurs, il n'est qu'à nous reporter à la synthèse publiée en 1959 par P. QUEZEL et C. MARTINEZ,

sous le titre "Le dernier interpluvial au Sahara central. Essai de chronologie palynologique et paléoclimatique", synthèse qui relate les divers résultats obtenus pour la majorité des régions étudiées et propose, à partir de ces résultats, une interprétation à la fois biogéographique et bioclimatique des faits apparus à la lumière des analyses polliniques. Il manquait encore à cette synthèse, lors de sa publication, les résultats fort intéressants fournis par de nouvelles recherches, entreprises à partir de récoltes de sédiments effectuées au Sahara méridional, au cours de la mission Berliet-Tchad. Ces plus récents résultats confirmaient en 1962 l'opinion exprimée par les auteurs quelques temps auparavant.

L'ensemble des travaux de A. PONS, P. QUEZEL, C. MARTINEZ, fait apparaître des données à peu près exclusivement relatives à la dernière phase pluviale, que l'on reconnaît, dans les zones montagneuses du Sahara central et méridional et dans leur Piédmont, à travers les vestiges géomorphologiques et les industries humaines dont cet événement a marqué la région. A propos du premier pluvial nous ne trouvons qu'allusions faites "à de rares sédiments fertiles et indiscutablement datés par des industries humaines en place, pebble-culture et acheuléen" (P. QUEZEL et C. MARTINEZ, 1962, p.315), précisant que les faits doivent être tenus pour comparables à ceux qui sont reconnus dans les temps récents, avec une ampleur toutefois probablement plus accentuée (P. QUEZEL et C. MARTINEZ, 1962; P. QUEZEL, 1963). C'est donc, jusque dans un passé lointain de 15 millénaires environ, que nous conduisent les premières analyses sahariennes et, pour cette période qui nous sépare des temps actuels d'extrême aridification du désert, nous possédons suffisamment de documents palynologiques pour proposer une histoire de la végétation. A la suite-même de ce qu'exprimaient P. QUEZEL et C. MARTINEZ en 1959 et compte tenu des quelques documents ultérieurs (1962), nous rappellerons les résultats essentiels qui ont été dégagés par les auteurs de l'ensemble de leurs analyses, ces dernières concernant des sédiments d'origines diverses : paléosols superficiels noirâtres, dépôts lacustres calcaires, diatomites, couches alluviales parfois sous-jacentes à des coulées volcaniques, sédiments de remplissage d'abris sous-roche, guano fossile entre autres.

1) Il convient, en premier lieu, de localiser avec précision l'origine de ces différents dépôts dont nous avons dit qu'ils étaient, pour la majorité, issus du Sahara central et méridional. Dans l'ordre chronologique de leurs recherches et des publications liées à ces dernières, les auteurs ont soumis à l'analyse :

- certains paléosols, recouvrant des terrasses édifiées lors du dernier pluvial dans le massif de la Teffedest (Oued Ahor, alt. 1700 m et Tin Tessandjelt, alt. 1400 m.) et d'autres, inclus dans une terrasse récente, au voisinage d'In Eker (alt. 1080 m). Ce sont là les premières analyses sahariennes, auxquelles il faut associer l'étude d'un horizon terreux issu de la station néolithique d'Hassi Meniet (alt. 900 m), pour que soit complet l'inventaire des premières localités prospectées dans le massif du Hoggar et dont l'étude a été publiée par A. PONS et P. QUEZEL en 1956 et 1957.

- au Hoggar également, un guano fossile de Daman, issu d'un abri sous-roche du massif de la Taessa (alt. 2000 m), situé à 10 km au Sud de l'Illamane (A. PONS et P. QUEZEL, 1958).

- au Sahara méridional, deux diatomites provenant de la dépression du Borkou, au Sud du massif du Tibesti, dépression encore localement marécageuse à la faveur d'une nappe phréatique peu profonde, région anciennement occupée par une vaste cuvette lacustre, dont les marécages actuels ne sont que des vestiges. Les recherches palynologiques, dans cette zone, sont localisées à basse altitude (250 m), dans la région de Kaorchi, à 150 km au Sud de l'Emi Koussi (point culminant du massif du Tibesti) et dans la dépression du Yogoum beaucoup plus méridionale, éloignée de 300 km de l'Emi Koussi et de 200 km du piedmont du Tibesti. A l'étude de ces diatomites, est également associée celle d'un sédiment de remplissage de l'abri sous-roche de Moissei (alt. 800 m sur le versant oriental du Tibesti) dont nous verrons l'intérêt de sa flore pollinique, lié au fait que cette dernière est datée par une industrie néolithique (P. QUEZEL et C. MARTINEZ, 1958).

- un ensemble de sédiments dont l'analyse ne fait pas l'objet de publications isolées, mais dont les résultats sont rassemblés dans la synthèse de P. QUEZEL et C. MARTINEZ (1959), sédiments de nature et d'origines diverses qui sont localisés de façon assez dispersée dans le massif central saharien, notamment dans la région de Tamanrasset, Silet, de l'Oued Segueika, certains également provenant des Tassilis n'Ajjer (Djanet, Sefar).

- au Sahara méridional enfin, la fructueuse récolte de sédiments prélevés lors de la mission Berliet-Ténéré-Tchad, sédiments parmi lesquels figurent :

- + des diatomites et paléosols de l'Adrar Bous, bas-fond anciennement lacustre, situé à l'altitude 870 m au Nord du massif de l'Aïr.

- + des diatomites profondes et superficielles et des argiles lacustres de la dépression nord-tchadienne, région actuellement sahélienne du Bahr el Gazal et de Koro Toro.

- + un sédiment contenu dans une poterie néolithique du Ténéré.

- + des excréments fossilisés d'herbivores, conservés dans l'abri des Monts Gauthier, l'ensemble de ces dépôts ayant donné lieu à la publication de P. QUEZEL et C. MARTINEZ, en 1962.

2) Après avoir situé géographiquement l'ensemble des prélèvements, principalement ceux qui ont fourni les résultats les plus significatifs, il nous devient plus facile de dresser, de façon évocatrice, un tableau des résultats obtenus à la suite des analyses polliniques. P. QUEZEL et C. MARTINEZ (1959) ont en réalité reconnu deux catégories de sédiments, selon la microflore qui s'y est trouvée décelée.

a) la majorité des échantillons contenant des pollens a révélé, après analyse, l'existence d'une flore composée d'espèces typiquement méditerranéennes, parmi lesquelles figurent Gymnospermes et Angiospermes, essences arborescentes et formes herbacées. Le groupe des Gymnospermes rassemble *Pinus halepensis* et *Pinus sp.*, *Cedrus atlantica* ainsi que des Cupressacées : *Juniperus phoenicea*, *Juniperus oxycedrus*, *Cupressus dupreziana*

et *Cupressus* sp., *Callitris quadrivalvis*. Les Angiospermes arborescentes sont variées, représentées par *Quercus ilex* notamment, des Oleacées (*Olea europea*, *Olea laperrini*, *Phillyrea*), *Erica arborea*, *Celtis* cf. *australis*, *Pistacia lentiscus* et *Pistacia terebenthus*. Il est bien évident que cette variété dans la flore pollinique ne se retrouve pas en chacun des gisements étudiés, que les espèces réunies dans cet inventaire ont été identifiées, çà et là, au cours des analyses. Toutefois la permanence du groupe des Gymnospermes est remarquable, ainsi que la très grande fréquence de la présence de *Quercus ilex*. A cet ensemble à caractère méditerranéen, il faut adjoindre quelques éléments d'une flore plus nettement septentrionale, dont nous préciserons la localisation, limitée à un petit nombre seulement de gisements : il s'agit des genres *Alnus*, *Acer*, *Tilia*, *Juglans*, ces deux dernières espèces ayant maintenant disparu de la flore d'Afrique du Nord.

b) en moins grand nombre, sont les échantillons qui ont livré une flore extrêmement homogène et essentiellement composée de Salsolacées et de Graminées, occasionnellement accompagnées de Crucifères. L'origine des sédiments en question a été notée au Sahara central, par P. QUEZEL et J.Y. THEBAULT (1959), mais également en quelques points plus septentrionaux du Sahara : Biskra, In Ziz, le soubassement du Grand Erg Oriental.

3) La connaissance de la répartition des gisements étudiés et la composition de la microflore qui vient d'être rapidement évoquée, nous invitent à rappeler ici l'hypothèse proposée quant à la signification à la fois biogéographique et bioclimatologique des résultats obtenus. Fondée sur cette hypothèse, une reconstitution de l'histoire de la végétation dans les zones montagneuses et leur piedmont est ensuite suggérée.

a) il a été précisé par les auteurs, que les sédiments dépourvus de flore pollinique à caractère méditerranéen, mais riches seulement en pollens de Salsolacées et Graminées, n'ont pas été recueillis en stations superficielles comme c'est le cas de la majorité des sédiments de la première catégorie, d'ailleurs datés, en grand nombre, par des industries néolithiques, voire même moustéro-atériennes. Compte tenu par conséquent de

leur situation stratigraphique et par rapport à la chronologie qui a été tentée, ces sédiments sont considérés comme antérieurs à ceux qui ont livré une flore méditerranéenne. La microflore si suggestive qu'ils contiennent évoquerait d'après P. QUEZEL et C. MARTINEZ (1959, p. 216), "une végétation steppique de type méditerranéen, se développant sous un climat très contrasté, comme c'est le cas sur les hauts-plateaux nord-africains ou dans le Sahara septentrional", formation steppique dont le développement, selon les auteurs, semblerait correspondre à la fin de la période würmienne en Europe, c'est-à-dire à une époque antérieure aux dix derniers millénaires avant l'ère chrétienne.

b) à la suite de cette phase climatique dont dépend un paysage à caractère steppique, s'installent des conditions d'humidité telles qu'une flore typiquement méditerranéenne colonise, au moins, les zones d'altitude les plus élevées. Dès le début de ce dernier pluvial, que l'on date approximativement de - 10000 - 8000 BC., on suppose les sommets des montagnes sahariennes envahies par des peuplements de *Cedrus*, *Pinus*, *Quercus* (probablement plusieurs espèces), témoignant d'un climat comparable à celui de l'étage méditerranéen sub-humide de l'Afrique du Nord actuellement. Ces zones d'humidité maximale abritent alors les éléments d'une forêt hygromésophile où *Tilia*, *Alnus*, *Acer*, *Juglans* "traduisent indiscutablement des précipitations importantes, 600 mm. à 700 mm. au moins". (P. QUEZEL et C. MARTINEZ, 1962, p. 321). Il est probable qu'à plus faible altitude la végétation est empreinte d'un caractère nettement xérophile et steppique, signe d'une certaine sécheresse estivale, *Pinus halepensis* prédominant encore alors qu'apparaissent *Juniperus phoenicea*, *Juniperus oxycedrus*, *Callitris*, *Cupressus*, *Olea*, *Celtis*.

Telles semblent être les conditions qui ont régné sur le Sahara central, à l'époque où se formaient les paléosols d'In Eker, datés par une industrie moustéro-atérienne. Parallèlement à ces dernières formations, P. QUEZEL et C. MARTINEZ situent, dans le temps, le dépôt, dans les grands lacs du Borkou, du piedmont de l'Aïr (Adrar Bous) et des Bas-Pays du Tchad, des diatomites dont la situation stratigraphique, ou la flore pollinique

comparée à celle de sédiments incontestablement plus récents, engage à penser qu'elles sont contemporaines de l'épanouissement des industries moustéro-atériennes. Sans entrer dans le détail des analyses polliniques de ces diatomites, dont les résultats sont très variables et, compte tenu du fait qu'elles se trouvent en situation beaucoup plus méridionale que les sédiments du Hoggar, nous dirons seulement que l'élément méditerranéen y est présent en plus ou moins grande abondance. Pour exemple, nous citerons la steppe lâche de *Juniperus*, à laquelle se trouve réduite la forêt méditerranéenne dans la dépression du Yogoum, tandis qu'à quelques 200 km plus au Nord, à Kaorchi, la proximité du piedmont méridional du Tibesti laisse supposer une zonation de la végétation, dont résulte une flore méditerranéenne plus riche. Il est intéressant de noter dans cette région du Borkou, à cette époque relativement récente, le contact des flores méditerranéenne et sahélienne (*Acacia seyal*, *Acacia raddiana*, *Ficus*), observation que l'analyse pollinique n'a pas permis de renouveler dans les autres sédiments du Sahara méridional. Notons également, à l'Adrar Bous, la présence de *Tilia* et *Alnus* qui ne manquent pas de poser problème à cette latitude, indiquant un climat nettement humide à proximité des lacs.

Envisagé parallèlement au cadre de la chronologie européenne, cet épisode d'humidité accentuée se trouverait contemporain des phases, encore froide puis déjà humide, que sont la période sub-arctique puis la période pré-boréale.

c) si le dernier pluvial est caractérisé, à son début, par les conditions d'humidité particulière que nous venons d'évoquer, la période néolithique, qui fait suite à l'épanouissement de la civilisation moustéro-atérienne, va être marquée par une évolution du climat secondairement à une amélioration des facteurs thermiques et à une diminution des précipitations. La végétation des zones montagneuses garde son caractère méditerranéen, comme en témoigne la microflore des paléosols de la Teffedest, le sédiment néolithique d'Hassi Meniet (3450 $\pm$ 300 B.C.). A. PONS et P. QUEZEL (1957) soulignent, dans ces analyses, la répartition stratigraphique uniforme des éléments tels que *Pinus halepensis*, *Quercus ilex*,

Celtis cf. australis, "permanence qui traduit des conditions climatiques homogènes correspondant au climat de l'étage méditerranéen semi-aride actuel en Afrique du Nord et dont la durée paraît s'être étendue pendant tout le Néolithique saharien pour s'achever sans doute il y a trois mille ans" (*loc. cit.* p. 35). A Méniet (alt. 1000 m.) interviennent déjà des éléments plus xérophiles, *Olea*, *Ziziphus*, *Cupressus*. Probablement à cette époque, les éléments les plus méridionaux se trouvent relégués au voisinage des points d'eau et au bord des oueds, en montagne : le seul témoignage de leur persistance à cette époque est la présence, dans le guano de Daman (2730 ± 300 B.C.) du massif de la Taessa (alt. 2000 m.), de pollens de *Tilia*, *Juglans*, *Fraxinus xanthoxyloïdes*, *Acer*. Toutefois la composition qualitative et quantitative de la flore pollinique de ce guano, engage les auteurs à penser qu'elle traduit l'existence d'une garrigue plutôt que d'une véritable forêt, les espèces septentrionales devant être considérées comme relictuelles, appartenant à une "ripisylve fragmentaire à proximité de quelques points d'eau permanents" (A. PONS et P. QUEZEL, 1958, p. 2292). Cette évolution vers des conditions plus xérophiles au cours du Néolithique est nettement marquée lorsque l'on quitte le massif du Hoggar pour se tourner vers le Sahara méridional. A cette époque, se rapportent les paléosols superficiels de l'Adrar Bous (- 3200 B.C.), les diatomites les plus superficielles des Bas-Pays du Tchad, le contenu d'une poterie du Ténéré. Dans toute cette région, les vastes lacs que nous avons évoqués précédemment se trouvent en voie d'assèchement : la flore pollinique, déjà enrichie en Salsolacées, ne compte plus comme espèces méditerranéennes que des Cupressacées, *Juniperus* et *Cupressus*, laissant présumer d'une végétation déjà steppique, sous un climat contrasté à hivers froids.

Ainsi P. QUEZEL et C. MARTINEZ sont-ils conduits à exprimer qu' "à la période boréale et la période atlantique", (optimum climatique), "répond au Sahara un assèchement progressif du climat qui, tout en restant méditerranéen au moins en montagne, présente des contrastes thermiques marqués et conditionne le remplacement progressif de la forêt de Pin d'Alep par des formations ouvertes d'allure steppique à Cupressacées, alors que les

formations sahéliennes à épineux , déjà présentes sur le versant sud du Tibesti à la période précédente (Borkou), tendent à envahir les piedmonts des zones montagneuses" (1959, p.223).

d) en dernier lieu se trouve posé par les auteurs, le problème de la régression du climat de type méditerranéen steppique et de son remplacement par un climat de type sahélien, en un laps de temps que les analyses polliniques semblent révéler particulièrement court. En montagne, la date de 2700 B.C. qui nous est donnée pour le guano de la Taessa, situe approximativement la disparition des influences méditerranéennes, de la flore arborescente leur correspondant et l'apparition de conditions suffisamment sèches pour permettre la fossilisation de ce matériel organique. Dans les régions basses déjà occupées par la steppe sahélienne à épineux, l'évolution est particulièrement rapide et cette rapidité est soulignée par les données très significatives de l'analyse de deux sédiments:

- un dépôt de remplissage de l'abri sous-roche de Mossei, sur le flanc oriental du Tibesti, déjà caractérisé par une microflore tout à fait sahélienne à *Acacia seyal* alors que les populations néolithiques brûlaient encore les derniers vestiges de boisements de Conifères dont ont été retrouvés les débris carbonisés.

- les excréments fossilisés dans l'abri sous-roche des Monts Gauthier qui livrent, à l'exception de quelques pollens de Cupressacées, la preuve d'une flore encore plus typiquement sahélienne à *Salavadora persica*, *Acacia seyal*, *Capparis sp.*, *Balanites aegyptiaca*, laissant présumer de précipitations de l'ordre de 100 à 200 mm en une région qui actuellement ne reçoit pas plus de 20mm d'eau et où ne subsiste plus un seul *Acacia*. A cette modification rapide et considérable du climat saharien, que l'on parallélise avec la période sub-boréale en Europe, P. QUEZEL et C. MARTINEZ (1962) proposent l'interprétation suivante: à la fin du Néolithique les conditions climatiques auraient été sensiblement comparables à celles des marges sahariennes actuelles avec été chauds, hivers froids et précipitations de l'ordre de 150 à 300 mm centrées sur les périodes froides. Le passage de ce climat

steppique méditerranéen au climat sahélien résulterait d'une simple variation de la périodicité des phases pluvieuses échappant au froid polaire et s'inféodant au régime des moussons. Cette inversion du rythme des précipitations aurait entraîné l'extension, sur l'ensemble du Sahara et jusqu'au flanc méridional de l'Atlas, d'une forêt d'épineux de type sahélien, cette région septentrionale en portant encore localement des vestiges. Sur les hauts sommets des montagnes ont persisté, seules, quelques formes relictuelles méditerranéennes. Ce n'est que progressivement que s'est effectuée la désertification du Sahara et son évolution vers les conditions actuelles, "le front tropical perdant peu à peu de son intensité et le front polaire n'arrivant pas à réacquérir le terrain perdu depuis 2 ou 3 millénaires" (*loc. cit.*, p. 327).

En forme de conclusion à cet essai de synthèse, que nous avons cru opportun de développer ici en raison de l'importance qu'ont revêtu les résultats des premières recherches palynologiques, dans la région du Sahara central et méridional, entre 1956 et 1962; nous rappellerons comment A. PONS et P. QUEZEL dans l'une de leurs premières publications (1957, p. 17), motivaient l'orientation de leurs recherches, s'exprimant ainsi : "l'intérêt des renseignements possibles sur le passé du climat et de la végétation saharienne était vivement ressenti par celui d'entre nous qui vient de souligner à propos de la végétation du Hoggar, la pluralité de l'origine du peuplement végétal de cette région, pluralité qu'il vient de retrouver, avec plus d'acuité encore sur les sommets du Tibesti". Allusion est faite ici aux travaux de P. QUEZEL; "Contribution à la flore et à la végétation du Hoggar" (1954) et "Mission botanique au Tibesti" (1958), travaux auxquels les recherches palynologiques sont venues apporter une lumière de tout premier intérêt.

II - RECHERCHES PALYNOLOGIQUES DE M. VAN CAMPO, PH. GUINET ET LEURS COLLABORATEURS AU SAHARA CENTRAL.

A la suite de travaux de A. PONS, P. QUEZEL et C. MARTINEZ, ont été entreprises, en liaison avec les recherches de géographes (P. ROGNON, P. DUTIL), une série d'analyses polliniques de sédiments, également issus

du Sahara central et qui sont l'œuvre de M. VAN CAMPO, Ph. GUINET et de leurs collaborateurs. Devant l'homogénéité et la cohérence des résultats obtenus, communiqués en un ensemble de trois publications principales, présentées sous le titre commun : "Contribution à l'étude du peuplement végétal quaternaire des montagnes sahariennes" (1964, 1965, 1967) (1), nous pourrions donner un aperçu global des données de ces dernières analyses et des conclusions proposées par les auteurs. Toutefois il nous est apparu que chacune de ces publications présente suffisamment d'originalité pour que nous envisagions de les présenter séparément.

1) Les premiers sédiments analysés font l'objet d'une publication de M. VAN CAMPO, Ph. GUINET, P. ROGNON (1964). Il s'agit de formations reconnues, sur le flanc du massif de la Taessa (bordure occidentale de l'Atakor), comme des dépôts de cuvettes lacustres dont l'existence fut liée à des barrages d'origine volcanique. Les deux sédiments, prélevés à Tarhenanet (1900 m) et Illamane (2100 m), ont une origine géographique très voisine, mais sont par contre très isolés chronologiquement. A Tarhenanet, le limon noir argileux, riche en matière organique, est daté du dernier Pluvial. Les diatomites d'Illamane au contraire, à la base d'une série stratigraphique dont l'évolution ultérieure à son dépôt est très accentuée, présentent, par ailleurs, une flore de Diatomées dont certaines sont des formes très anciennes. Ces sédiments sont considérés comme étant d'âge quaternaire ancien. L'intérêt de ces analyses polliniques était précisément de fournir des renseignements sur la physionomie du peuplement végétal de la région étudiée, à une époque du Quaternaire restée encore quasiment inexplorée par les palynologues. Dès lors il se dégage les réflexions suivantes :

a) comparée à la flore pollinique d'Illamane (Quaternaire ancien), celle de Tarhenanet (Quaternaire récent) se trouve, spécifiquement, très appauvrie.

b) les statistiques étant établies non plus sur le nombre des espèces représentées mais sur celui des pollens, le pourcentage des formes ligneuses (voisin de 17) par rapport à celui des herbacées, indique un

(1) Afin que soit complète cette documentation bibliographique, rappelons les notes préliminaires à ces communications : M. VAN CAMPO (1964a, 1964b) et M. VAN CAMPO, Ph. GUINET, J. COHEN, P. DUTIL (1966).

paysage végétal où la dominance n'appartient pas aux phanérophytes. Cette remarque d'ordre quantitatif, ainsi que la composition de la flore ligneuse, excluent la possibilité d'un certain nombre de types de formations forestières (groupement de haute montagne, forêt tempérée de type médio-européen marquée par la dominance d'une essence, formation tropicale d'altitude). Ainsi les auteurs sont-ils amenés à penser que "les pollens inventoriés peuvent être interprétés comme le témoignage d'un peuplement mixte arboré, probablement assez ouvert pour favoriser le développement de taches de végétation héliophile herbacée multispécifique : une forêt ouverte" (*loc. cit.*, p. 183).

c) du point de vue de la composition floristique du paysage végétal, sans qu'il soit nécessaire de reproduire un inventaire des espèces que rassemble le spectre pollinique, il est évident que les analyses révèlent la juxtaposition d'essences d'origines diverses. Un soin très particulier a été apporté à l'étude des espèces arborées et spécialement aussi aux éléments nouvellement apparus dans les analyses sahariennes : éléments de flore tempérée considérés comme irano-caucasien et éléments tropicaux.

- les éléments tropicaux sont au nombre de trois : *Entada* (Mimosacée), *Antidesma* (Euphorbiacée), Sapotacée (non *Argania*). Ce sont des genres dont la localisation actuelle la plus septentrionale se situe dans les savanes boisées d'Afrique occidentale et qui ont pu remonter, au Quaternaire, jusqu'au Hoggar, à la faveur de forêts-galeries le long d'un réseau hydrographique alors fonctionnel.

- les éléments tempérés, considérés comme irano-caucasiens, n'ont pour certains jamais été reconnus dans l'histoire passée du peuplement végétal du Sahara central : *Zelkova*, *Pterocarya fraxinifolia*, *Picea cf. orientalis*, *Taxus baccata*. D'autres n'ont pu être rapprochés d'espèces européennes actuelles : *Tilia cf. rubra*, *Alnus sp* (?), *Juglans (non regia)*. Toutes ces essences évoquent une influence de type "boréal" et les analyses fournissent de "fortes présomptions pour indiquer qu'au Quaternaire inférieur, peut-être au Villafranchien, le peuplement végétal de l'Atakor avait subi

une influence marquée, extérieure à celle de la zone tropicale du continent africain" (*loc. cit.*, p. 186).

Il est certain que l'apparition de ces éléments nouveaux dans la physionomie du peuplement végétal des montagnes sahariennes au Quaternaire ancien, oblige à élargir le champ des influences que l'on avait jusqu'alors envisagées comme responsables de ce peuplement. Les analyses antécédentes permettaient d'admettre que le Bassin méditerranéen *sensu-stricto* avait fourni une part importante de la végétation montagnarde quaternaire saharienne (*Pinus halepensis*, *Quercus ilex*, *Cedrus*, *Callitris*). "On doit convenir que cette flore, mêlée de rares espèces tropicales, recélait encore les vestiges d'un peuplement d'origine plus orientale (*Pterocarya*, *Zelkova*)" écrivent les auteurs (*loc. cit.*, p. 187), rappelant aussi qu'avant l'apparition de la fosse de la Mer Rouge "l'Afrique septentrionale était largement ouverte aux influences asiatiques" et que "sa flore tertiaire a pu être une flore à affinités orientales" (*loc. cit.*, p. 188).

d) l'essai d'interprétation apporté à la physionomie de ce paysage végétal quaternaire est tenté à partir d'une double constatation : conjointement à l'absence de pollens de Cèdre, essence qu'excluent des conditions de nébulosité très accentuées, on note dans l'analyse, la présence d'*Epicea* et de *Pterocarya* qui, à l'égal du Hêtre, nécessitent une intense nébulosité l'été et l'hiver. Sur ce point précis de la nébulosité, l'existence, au Quaternaire ancien, de ces deux espèces est retenue comme une raison de présumer d'un aspect, au moins, de la nature du climat. Il est souligné qu'actuellement encore, l'Atakor, par rapport à l'ensemble du Sahara, est doté d'une pluviosité et de conditions d'humidité notables.

L'hypothèse apportée à la suite de ces suggestions, est une analogie entre le climat des montagnes du Sahara central au cours des phases humides du Quaternaire (Quaternaire ancien notamment) et celui qui règne actuellement sur le flanc nord de l'Elbourz, que caractérise une nébulosité due à la proximité de la Caspienne, nettement plus accentuée que celle du climat méditerranéen dont bénéficient les chaînes atlasiques. Au Quaternaire, les

masses d'air froid venant des zones glacées d'Europe se seraient chargées d'humidité au contact de la Méditerranée et auraient apporté cette humidité jusqu'au niveau des massifs montagneux sahariens où se serait créée une zone de nébulosité et de condensation favorisant, en altitude, le maintien de flores septentrionales.

Le massif du Hoggar, après cet essai de reconstitution paléoclimatique est enfin considéré comme une zone-refuge, ainsi que le sont bien d'autres massifs montagneux. *Picea*, au Villafranchien, y est considéré comme une relique tertiaire et les auteurs concluent qu'"il faut bien remonter dans le temps au-delà du Villafranchien, pour expliquer la présence de ces reliques et en particulier de *Pterocarya* et de *Picea*" (*loc. cit.*, p. 191).

2) dans une seconde étape de leur "Contribution à l'étude du peuplement végétal quaternaire des montagnes sahariennes", M. VAN CAMPO, J. COHEN, Ph. GUINET, P. ROGNON (1965) ont souligné un fait remarquable, observé au Sahara central, lorsque l'on considère simultanément les documents relatifs aux faunes et aux microflores fossiles. De toute évidence, les uns et les autres apportant le témoignage de phases pluviales favorables au maintien de la vie animale ou végétale, livrent cependant des renseignements différents et en apparence contradictoires, quant à la nature des épisodes humides. Les gisements contenant des faunes semblent toujours correspondre à des phases pluviales à caractère tropical, tandis que les analyses de microflores révèlent, nous l'avons vu, des périodes humides à caractère méditerranéen. Le problème posé est alors celui de l'alternance de deux types de Pluviaux au cours du Quaternaire et de l'appartenance de ces faunes et de ces flores à des épisodes humides de nature différente, se succédant au cours du Quaternaire à la faveur de "balancements climatiques". Ou bien est-il possible d'envisager que ces flores et ces faunes, aux exigences écologiques différentes actuellement, aient coexisté dans le passé ? Face à ce problème il était intéressant de rechercher la flore pollinique liée à un gisement de Mammifères, daté précisément par des arguments à la fois paléontologiques et géomorphologiques. L'analyse a été réalisée à partir d'un

coprolithe de crocodile, provenant d'un gisement de Mammifères découvert en plein massif de l'Atakor (Tahag, alt. 1800 m). Le gisement, par la composition de sa faune dont certains éléments présentent des caractères très archaïques, doit être considéré comme datant du Villafranchien inférieur, "la faune se situant à la charnière entre le Tertiaire et le Quaternaire (loc. cit., p. 364). Le fait qu'un coprolithe ait été choisi comme matériel d'analyse, préférentiellement à un quelconque échantillon de sédiment issu du gisement, donne le maximum de sécurité quant à la contemporanéité de la flore pollinique et donc de la végétation qu'elle révèle, avec la faune présente dans ce gisement.

Les résultats de l'analyse pollinique sont tout à fait superposables à ceux évoqués à propos des analyses de Tarhenanet et Illamane, du point de vue qualitatif du moins. La même juxtaposition se retrouve : éléments à caractère tempéré (entre autres *Pterocarya non fraxinifolia*, *Platanus*, *Juglans*, *Tilia*, *Aesculus non hippocastanum*), éléments de flore tropicale (Sapindacées, Anacardiaceae autre que *Rhus*, Myrtacée autre que *Myrtus*, *Myrica cf. faya*) et, également, éléments à caractère méditerranéen, auxquels se superpose un lot toujours abondant de pollens de plantes désertiques. Il apparaît toutefois que la strate arborée caducifoliée notamment est beaucoup plus développée à Tahag qu'à Illamane et Tarhenanet.

Cette analyse apporte la preuve de la coexistence, à l'extrême début du Quaternaire, peut-être au passage Tertiaire-Quaternaire, d'une faune à caractère tropical et d'une flore marquée d'influences tout à fait septentrionales. Elle confirme, pour les auteurs, le caractère archaïque de cette flore "d'origine tertiaire" et de "type montagnard méditerranéen euro-asiatique" (loc. cit., p. 368). L'idée apparaît avec plus de netteté, d'une grande ancienneté, sur les sommets des montagnes sahariennes, de cette flore tertiaire.

Au cours du Quaternaire celle-ci aurait connu, à la faveur des Pluviaux, plusieurs phases de progression à partir de massifs-refuges, alternant avec des épisodes de régression correspondant aux Interpluviaux. Il se dégage de toutes ces analyses qu'un "climat tempéré humide de type plus

ou moins méditerranéen a régné sur l'Atakor au début et à la fin du Quaternaire, permettant à cette flore archaïque, actuellement disparue, de se maintenir" (*loc. cit.*, p. 371). Par contre il doit être rappelé que des migrations successives d'espèces atlasiques (*Cedrus*, *Pinus*, *Quercus*, *Cupressus*) vers les montagnes du Sahara central, lors des périodes de refroidissement et d'accroissement des précipitations, ont été reconnues par P. QUEZEL et ses collaborateurs.

3) La troisième série d'analyses dont les résultats ont été publiés par M. VAN CAMPO, Ph. GUINET, J. COHEN, P. DUTIL (1967), se rapporte à des échantillons de sédiments prélevés à proximité de l'Oued Outoul (alt. 1430m), à 20 km environ de Tamanrasset dans une terrasse alluviale dont l'âge présumé est quaternaire récent.

La microflore pollinique présente en deux des échantillons étudiés vient confirmer l'hypothèse précédemment émise, confirmation non inutile puisque, comme l'expriment les auteurs, "il n'est pas aisé d'admettre, sans de multiples preuves, un Hoggar quaternaire portant sur ses cîmes châtaigniers, marronniers, platanes, tilleuls, noyers jusqu'à une époque relativement récente" (*loc. cit.*, p. 108). Il faut admettre que les spectres polliniques obtenus, comptent une certaine quantité de pollens provenant du bassin versant, une dénivellation de 1400 m devant être envisagée.

Du point de vue qualitatif, apparaissent les éléments d'une flore arborée, particulièrement intéressante par la variété des éléments tropicaux que l'on y rencontre, ainsi que par le nombre des espèces paléotempérées eurasiatiques, auxquelles est associée une flore herbacée elle-même relativement variée.

- la flore arborée à affinités tropicales compte : *Podocarpus* (stations occidentales et orientales montagnardes les plus proches actuellement à 1600 et 3500 km), *Hymenocardia*, des Combrétacées, *Cassia italica*, *Phyllanthus*, *Antidesma*, *Commicarpus*, *Acacia ethbaica*.

- parmi les espèces paléotempérées relictuelles, figurent : *Aesculus*, *Ulmus*, *Alnus*, *Corylus*, *Betula*, *Platanus*, *Juglans*, *Tilia*, *Taxus*.

- quelques essences méditerranéennes autochtones en Afrique du Nord sont également reconnues : *Pinus* (dont *P. halepensis*), *Tetraclinis*, des Cupressacées, *Olea*, *Pistacia*, *Quercus* (*Q. ilex* et *Q. Mirbeckii*). Nous retrouvons donc ici le mélange complexe d'éléments d'origines diverses, à côté desquels il reste très délicat d'interpréter la composition d'une flore herbacée au sein de laquelle, même une détermination générique ne permet pas forcément de présumer de l'appartenance du genre à une espèce méditerranéenne, subméditerranéenne ou strictement inféodée au milieu désertique.

Au terme de cette analyse l'attention est attirée sur le fait que cette flore herbacée "dans laquelle il est difficile de faire la part de ce qui est plus saharien que méditerranéen" (*loc. cit.*, p. 118) est toujours présente depuis le Villafranchien. La question que suggère cette observation nous semble suffisamment importante pour mériter d'être citée : "peut-être peut-on en déduire dès maintenant, ne serait-ce qu'à titre d'hypothèse, qu'une barrière désertique a toujours existé, en plaine, au Sahara, pendant le Quaternaire, barrière plus ou moins efficace, interrompue par les arcs montagneux et les grandes vallées, mais toujours présente". (*loc. cit.*, p. 118).

Addendum.

1) Hors du contexte de cette "Contribution à l'étude du peuplement végétal quaternaire des montagnes sahariennes" dont les résultats viennent d'être rappelés, Ph. GUINET et D. PLANQUE ont publié dans l'ouvrage de C. GAMPS (1969), une analyse de six échantillons prélevés dans la terrasse de l'oued Amekni (à 60 km de Tamanrasset). Deux de ces derniers sont datés par le radio-carbone, ce qui permet de situer le dépôt des sédiments entre une période légèrement antérieure à 6100 B.C. et 3550 B.C.. Comme dans les formations précédemment analysées, se retrouve l'association de pollens d'essences d'origine tempérée et tropicale et également de pollens de familles, genres ou espèces à caractère plus désertique ou sub-méditerranéen.

2) Bien que relative au Sahara méridional, nous pouvons situer ici la participation de J. COHEN, en tant que palynologue et dans le cadre des

travaux de l'Equipe de Recherches dirigée par Mme VAN CAMPO, à une étude de "Quelques formations lacustres et fluviatiles associées à différentes phases du volcanisme au Tibesti (Nord du Tchad)" (J. MALEY, J. COHEN, H. FAURE, P.M. VINCENT, 1970). Les analyses polliniques de trois échantillons d'âge villafranchien ont révélé des microflores dont la composition est comparable à celle recueillie à partir du coprolithe issu du gisement de Mammifères de Tahag précédemment évoqué. Au sein de formations holocènes par contre, a été mise en évidence par la méthode de la fluorescence, la juxtaposition d'une microflore remaniée (rassemblant des pollens d'espèces essentiellement tempérées) et d'une population autochtone, manifestant la prédominance du genre *Tamariix* qui traduit l'importance prise par une formation végétale du type forêt-galerie.

III - ETUDE PALYNOLOGIQUE DE SEDIMENTS DE REMPLISSAGE D'ABRIS NEO-LITHIQUES AU TASSILI N'AJJER, PAR Fr. BEUCHER (1968).

L'étude qui fut faite des gisements néolithiques de Tan Tartaït et I-n-Itinen, au Tassili n'Ajjer (Sahara central), rassemble des documents d'ordre à la fois stratigraphique, archéologique, sédimentologique et paly-nologique, que viennent étayer des datations par le radio-carbone : H. ALIMEN, F. BEUCHER, H. LHOTE avec la collaboration de G. DELIBRIAS, 1968).

Nous retiendrons seulement ici les quelques renseignements qu'ont apportés les analyses polliniques d'échantillons, issus de diverses couches reconnues dans le remplissage de ces deux abris sous-roche qui, à 1600 m. d'altitude, se situent géographiquement à 10 km à vol d'oiseau de l'oasis de Tamrit et à 25-30 km de Djanet, non loin de la piste qui conduit de Djanet à Ghat.

1) Tan Tartaït.

Le remplissage de l'abri qui forme une cavité profonde à flanc de falaise, dans les éboulis de la rive droite de l'oued I-n-Tartaït, montre à partir du plancher, une succession de cinq couches de nature pétrographique différente : limon noir ou jaune, terre rougeâtre ressemblant à de la terre à brique, tuf blanchâtre, sable éolien. Le niveau archéologique correspond à la couche II : c'est un limon noirâtre contenant des

fragments de poterie, des plaquettes de grés retouchées, des meules et des broyeurs et de nombreux fragments de charbons de bois datés de 2520 B.C. Des charbons de bois non datés, situés à la partie supérieure de l'abri, sont également l'indice d'un ancien foyer.

Les résultats de l'analyse pollinique, considérés globalement, suggèrent quant aux couches I à IV les conclusions suivantes :

a) Il s'avère que l'état d'altération très poussé des pollens dans le niveau archéologique ne peut pas donner une image fidèle de la végétation contemporaine de la période d'habitation de l'abri. Toutefois la microflore déterminable semblerait essentiellement composée d'espèces herbacées (principalement Chénopodiacees, Composées, Crucifères). *Pistacia* et *Ostrya* sont les seules espèces arborescentes reconnues.

b) Superposé à cette couche archéologique, se trouve le niveau le plus riche en pollens. La flore y est exclusivement herbacée, steppe sèche avec dominance de Chénopodiacees et de Composées (75%), qu'accompagnent d'assez abondantes *Ephedra*, Graminées, Crucifères.

c) De part et d'autre de ces couches intermédiaires, le limon de base et les couches supérieures ont fourni des échantillons dont l'analyse révèle la présence d'essences arborescentes, à caractère méditerranéen (*Pinus*, *Juniperus*, *Quercus ilex*) ou plus tempéré (*Alnus*, *Ulmus*, *Castanea Juglans*). La flore herbacée ou buissonnante y est variée : Composées et Graminées dominant généralement, tandis que *Myrtus communis*, *Helianthemum*, *Lavandula*, donnent à la steppe une nuance méditerranéenne.

Notons qu'un échantillon a été prélevé dans un niveau de fumier se situant à la partie supérieure de l'abri, niveau particulièrement riche en pollens sans que la présence d'arbres y ait été décelée tandis qu'en grande abondance figurent des pollens de Composées, de Crucifères et du genre *Ephedra*. (sp. ?) *Myrtus nivellei* y a été identifié.

En conclusion, si l'on s'abstient d'interpréter l'analyse trop imprécise du sédiment de la couche archéologique, il apparaît que le dépôt de la couche III, couche stérile du point de vue archéologique, serait

contemporain d'un épisode marqué par des conditions d'aridité notable que traduit la microflore à caractère particulièrement xérophile. Dans cette hypothèse nous sommes amenés à supposer, d'après les données de la palynologie, l'existence de deux phases humides, séparées par une période plus sèche et à reconnaître à Tan-Tartaït deux phases d'occupation distinctes auxquelles correspondent les foyers inférieur et supérieur, séparées par une période d'abandon de l'abri, à la suite d'un retour temporaire à des conditions plus rudes du climat.

2) I-n-Itinen.

Trois niveaux ont été étudiés dans l'abri d'I-n-Itinen, le niveau inférieur étant une simple couche sablonneuse, tandis que les deux autres portent le témoignage d'occupation par l'homme : poteries, outillages, pierres noircies correspondant à des foyers, charbons de bois datés respectivement de 2910 B.C. (couche II) et 2680 B.C. (couche III). Une période de 230 ans sépare ainsi, apparemment, deux phases d'occupation de l'abri. Le sédiment prélevé dans la couche II, considérée comme foyer principal, s'est révélé quasiment stérile en pollens : il ne donne aucune possibilité d'établir un lien entre les couches I et III qui par contre, ont fourni des échantillons dont la microflore compte

- en I, *Pinus*, *Cupressus*, *Ostrya*, *Corylus*, *Castanea* accompagnés de nombreuses Composées et Graminées.

- en III, *Pinus*, *Quercus cf. ilex*, *Olea*, les Composées et les Graminées étant encore dominantes.

C'est donc, ici également, l'image d'une végétation à caractère humide, méditerranéen, que donne l'analyse de la microflore conservée dans les sédiments de remplissage de l'abri d'I-n-Itinen.

Notons que les dates obtenues par le radiocarbone, attachées à la couche II de Tan-Tartaït et aux couches II et III d'I-n-Itinen en font des sites sensiblement contemporains de celui de Taessa (2370 B.C.) dont nous avons déjà parlé.

B - AU SAHARA SEPTENTRIONAL : Etude palynologique des alluvions quaternaires
de la daya M'Rara (W. de l'Oued Rhir), par C. MARTINEZ et P. QUEZEL.

Dans la partie septentrionale du Sahara, à plus de 150 km de la lisière sud de l'Atlas saharien, la daya M'Rara est une dépression qui retient les eaux de ruissellement du bassin de l'Oued R'tem, celui-ci s'écoulant normalement d'W. en E. en direction de l'Oued Rhir, sans toutefois l'atteindre. Cette daya est occupée actuellement par une végétation typiquement saharienne. Pédologues et palynologues ont entrepris de confronter les données d'une étude des alluvions quaternaires qui remplissent la daya. Les résultats en ont été communiqués en 1959, par P. DUTIL, C. MARTINEZ et P. QUEZEL, sous le titre "Etude pédologique et palynologique d'un profil des formations quaternaires de la daya M' Rara (W. de l'Oued Rhir)". Il ne nous appartient pas d'entrer dans le détail de l'analyse pédologique du profil. Nous dirons seulement que les documents palynologiques sont considérés comme une confirmation satisfaisante des données de l'étude pédologique et géomorphologique.

Du point de vue palynologique les analyses apparaissent particulièrement pauvres quantitativement. Cinq horizons ont été étudiés dont le plus ancien "correspond à la phase de maximum de précipitations et d'humidité du dernier pluvial saharien" (*loc. cit.* p. 202). L'échantillon issu de ce dernier a révélé la présence à cette époque d'*Alnus glutinosa* et de *Pinus clusiana* (= *P. laricio*). Les auteurs parallélisent ce résultat avec ceux obtenus au Sahara central, à partir de sédiments datés du début du Pluvial récent. Les horizons suivants témoignent, après analyse, d'une tendance vers un assèchement du climat, approximativement 4 à 5 millénaires avant J.C. . *Pinus halepensis* apparaît, alors, en même temps que les sédiments "traduisent indiscutablement la dégradation lente mais progressive de tout le bassin de l'Oued R'tem". Puis, à côté de *Pinus halepensis* figure *Cupressus cf. dupreziana* "dont l'extension semble s'être faite au maximum 2 à 3 millénaires avant l'ère chrétienne" (*loc. cit.*, p. 202).

Bien que fondée sur des bases palynologiques extrêmement fragiles, en raison de la pauvreté de la microflore, la confrontation des documents

permet aux auteurs "d'affirmer que les diverses phases climatiques mises en évidence au Hoggar en particulier, ont bien existé également dans la portion septentrionale du Sahara algérien, zone pour laquelle nous ne possédions encore que des résultats peu significatifs" (*loc. cit.*, p. 203).. Ces résultats auxquels il est fait allusion concernent probablement le petit nombre des analyses signalées par P. QUEZEL et C. MARTINEZ (1959) et effectuées sur des sédiments prélevés dans la région de Biskra, In Ziz et à Bir Pastor (sous-bassement du Grand Erg Oriental).

C - AU SAHARA NORD-OCCIDENTAL.

Les seules recherches palynologiques entreprises au Sahara nord-occidental font précisément l'objet de cette thèse. Il est donc inutile de s'attarder ici sur les résultats obtenus, qui sont détaillés dans le présent mémoire. Certains d'entre eux ont fait l'objet de communications s'échelonnant entre 1963 et 1970.

D - EN TUNISIE PRE-SAHARIENNE.

Les observations stratigraphiques et géomorphologiques faites par R. COQUE (1958) dans le Sud-tunisien, ont mis en évidence le rôle primordial des variations climatiques dans cette région depuis le début du Quaternaire. Des séquences climatiques ont été définies, qui se traduisent dans la morphologie par la genèse de glacis, correspondant à des phases de précipitations maximales à hivers frais. Ces Pluviaux de type semi-aride ont été reconnus au nombre de quatre. A ces observations ont été confrontés les résultats d'une série d'analyses polliniques (M. VAN CAMPO et R. COQUE, 1960), analyses effectuées à partir de sédiments humifères ou tourbeux, prélevés en trois localités du piedmont des djebels peu élevés qui forment les lignes de relief au voisinage du Chott el Fedjjadj : El Guettar, Aïn Brimba, Oued Akarit. Ces localités sont approximativement centrées sur le Chott et séparées de 80 à 100 km environ du N. au S. et d'W. en E. . Les sédiments

étudiées sont datés par la présence d'industries moustériennes ou du Paléolithique supérieur. La station d'El Guettar a fait l'objet de publications antérieures (M. VAN CAMPO, 1958; A. LEROI-GOURHAN, 1958). Les résultats des analyses auxquelles elles sont relatives, ont été ré-envisagés parallèlement à ceux concernant les stations d'Aïn Brimba et de l'Oued Akarit. En conclusion de ces analyses se dégagent deux orientations :

1) L'importance que revêt la flore herbacée dans les spectres polliniques, témoigne d'un paysage essentiellement steppique dans les piedmonts, avec prédominance de Composées, Graminées, paysage qui ne devait pas différer fondamentalement de l'actuel. La présence de zones marécageuses locales, liées à des sources ascendantes encore fonctionnelles, est attestée par le nombre non négligeable des pollens de Cypéracées identifiés.

2) Toutefois un certain nombre d'éléments, actuellement absents de cette région, apparaissent dans les spectres à côté de cette flore herbacée. A l'Oued el Akarit, *Pinus halepensis* et Cupressacées suggèrent, en l'absence de djebels très proches, l'existence, plus ou moins lointaine seulement, de pinèdes. Les faits sont plus aisément explicables à El Guettar et à l'Aïn Brimba. El Guettar se situe au pied du Djebel Orbata (alt. 1165 m) et l'on doit admettre, en présence d'une quantité non négligeable de pollens de *Cedrus* dans la microflore pollinique, que la cédraie, encore présente sur les massifs du Sud-constantinois atteignait le Djebel Orbata qui ne porte plus actuellement qu'une forêt climacique à *Juniperus thurifera*: c'est là l'indication de "pluies moins rares et d'un enneigement hivernal révélateur de températures plus rudes" (*loc. cit.*, p. 283). A l'Aïn Brimba, *Alnus*, *Quercus suber*, *Olea*, *Pinus halepensis* et des Cupressacées ainsi qu'*Erica scoparia* maintenant littorale, sont présents en dépit du développement considérable en cette station de la steppe à Chénopodiacées et des Graminées. La présence de ces méditerranéennes, devenues maintenant nord-tunisiennes, témoigne d'une aridité moindre au Quaternaire. Il faut imaginer, dominant l'Aïn Brimba, le modeste Djebel Tabaga (alt. 469 m) couvert dans le présent d'une steppe d'alfa, peuplé à cette époque du Quaternaire d'une forêt de *Pinus halepensis*.

Ainsi les documents apportés par l'analyse pollinique viennent corroborer les faits d'observation des géomorphologues. En Tunisie présaharienne, il semble que les "Pluviaux" correspondent "à des types de climat semi-arides à hivers frais, et les Interpluviaux à des climats plus arides et plus chauds" (*loc. cit.*, p. 284).

En conclusion, l'évidence surgit naturellement, au terme de cette analyse, de l'intérêt suscité chez les palynologues, par les formations quaternaires sahariennes, quelle qu'en soit l'origine géographique. L'homogénéité des résultats obtenus par les différents auteurs est assez remarquable. La majorité des analyses concernent, il est vrai, des sédiments relativement récents qui manifestent tous que les paléoflores leur correspondant sont composées d'essences d'origines diverses dont la juxtaposition est justifiée, dans les régions en question (Sahara central et méridional principalement), par une zonation altitudinale de la végétation. Un très petit nombre d'analyses de sédiments villàfranchiens permettent de cerner l'origine de ces espèces, actuellement étrangères, même à l'Afrique du Nord, pour la majorité d'entre elles du moins. La synthèse de P. QUEZEL et C. MARTINEZ (1959) fait nettement apparaître la très fréquente pauvreté en pollens des sédiments sahariens, quand même il ne s'agit pas de formations stériles.

DEUXIEME PARTIE

METHODOLOGIE

CHAPITRE VI

PRELEVEMENT ET TRAITEMENT DES ECHANTILLONS ANALYSES

Le mode de prélèvement et le traitement des échantillons destinés à l'analyse pollinique doivent faire l'objet d'un soin très particulier.

I - PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS.

Dès que furent entreprises, à partir d'une soixantaine d'échantillons reçus des géologues qui nous avaient précédée sur le terrain, les premières tentatives d'analyse pollinique de sédiments de la région de Béni-Abbès, l'évidence fut acquise de la très grande pauvreté des microflores fossiles dans la majorité des échantillons traités, voire même de la stérilité d'un bon nombre d'entre eux : ceci guida par la suite notre propre manière d'échantillonner nos prélèvements sur le terrain.

1) Origine et nature pétrographique des sédiments étudiés.

Comme nous l'avons indiqué dans l'introduction, le but de cette étude était de rechercher quelles données complémentaires pouvait apporter, à la connaissance du passé géologique de cette région, celle d'une éventuelle évolution de la flore, parallèlement à une stratigraphie déjà bien étudiée. Aussi nos prélèvements devaient-ils s'échelonner dans le temps, depuis le début de la phase de sédimentation continentale tertiaire, que l'on date ici du Néogène, jusqu'au Quaternaire le plus récent, repérable en stratigraphie, ou très souvent marqué par des vestiges d'industries préhistoriques néolithiques ou des faunes datées par le radiocarbène. Ainsi, représentant successivement les formations continentales de la fin du Tertiaire, puis les diverses phases de sédimentation qui ont alterné, au Quaternaire, avec les périodes d'érosion (deux cycles sédimentaires étant reconnus pour chacune des grandes subdivi-

sions : Quaternaire ancien, moyen et récent), nous avons rassemblé approximativement 700 prélèvements récoltés en deux missions au Sahara nord-occidental.

Bien que nous serons amenée, au fur et à mesure de notre étude palynologique, à caractériser le type de sédimentation propre à chaque période, nous anticiperons ici, en présentant brièvement, la relative variété des formations sédimentaires qui ont été analysées.

a) la période de sédimentation néogène est une longue séquence lacustre, au cours de laquelle se développe essentiellement, en eau peu profonde, la "torba", faciès pétrographique dominant, gréseux, argilo-carbonaté. Une phase de silicification généralisée, en régime lacustre plus profond (selon G. CONRAD, 1969) conduit à l'édification de la dalle meulière qui couronne l'actuelle Hamada du Guir.

b) au Quaternaire ancien, la sédimentation est dominée, lors du premier cycle sédimentaire, par des phénomènes d'écoulements en nappes dont résultent des épandages à caractères détritiques fins (sables et grès) et des formations conglomératiques, puis au cours du second cycle sédimentaire, par des dépôts fluviatiles (conglomérats et grès) ou fluvio-lacustres (alternance de sables et de pseudo-marnes).

c) au Quaternaire moyen, dans les terrasses des oueds, ce sont des formations conglomératiques d'origine fluviatile qui caractérisent la sédimentation, notamment lors du second cycle sédimentaire, où l'aspect très particulier des conglomérats ne laisse aucune confusion possible avec ceux des époques antérieures.

d) au Quaternaire récent par contre, la sédimentation est essentiellement sableuse. Les caractères granulométriques des sables, mis en place lors du premier cycle sédimentaire, supposent, suivant les localités et suivant la stratigraphie, une origine fluviatile, éolo-fluviatile ou éolienne. Sporadiquement se sont développés des épisodes lacustres dont témoignent des formations à "aspect de marnes". Signalons, dans la vallée de la Saoura, la présence d'un niveau ligniteux manifestant des conditions locales et temporaires assez particulières.

Les sédiments les plus récents, datés par des éléments de faune ou une industrie néolithique, sont encore principalement des sédiments lacustres ou des sables liés à des habitats préhistoriques.

Notons que de l'ensemble des coupes que nous avons étudiées, les argiles et les marnes sont absentes.

2) Prélèvement et conservation des échantillons.

a) le nombre des échantillons prélevés est important, nous l'avons vu. Il fallait, en présence de chaque coupe, en fonction d'une stratigraphie sur laquelle nous tenions essentiellement à fonder notre étude, s'assurer le maximum de matériel afin de pallier les nombreux échecs prévisibles. La fréquence des prélèvements est cependant très variable localement suivant les coupes et la plus ou moins grande complexité de la stratigraphie, dont tous les niveaux ont été échantillonnés. Dans toute la mesure du possible nous avons sérié l'échantillonnage selon une ligne verticale approximative, mais très souvent les difficultés d'accès aux coupes ou à certains niveaux, nous ont amenée à effectuer des prélèvements parfois quelque peu éloignés les uns des autres et à figurer des coupes théoriques.

b) les quantités de sédiment prélevées sont également variables en fonction du degré de consolidation des niveaux stratigraphiques; toutefois, sachant la pauvreté de la flore pollinique conservée, nous n'avons pas hésité à prélever des échantillons dont le poids atteignait 500 ou 1000 gr. et même davantage.

Autant que ce fut réalisable, quelques précautions ont été respectées :

- les affleurements étant souvent altérés en surface du fait de l'aridité du climat, les échantillons ont été prélevés le plus possible en profondeur, à l'abri des phénomènes d'oxydation. Dans les niveaux très consolidés il fut parfois nécessaire de débiter des blocs préalablement détachés de la surface pour en extraire des échantillons valables.

- les échantillons ont été prélevés en évitant au maximum les risques de contamination par les niveaux voisins et par l'atmosphère ambiante contenant sûrement des pollens de plantes actuelles, malgré l'apparente pauvreté de la végétation. C'est pourquoi, au fur et à mesure, de l'échantillonnage, chaque prélèvement a été enfermé sur place dans un premier sac en plastique, étiqueté, lui-même placé dans un second sac résistant (toile ou papier kraft épais et doublé), devant le protéger des risques ultérieurs de contamination, une fois effectué le transport hors du lieu d'origine. Notons enfin combien il est important de conserver le matériel destiné à l'analyse, à l'abri de l'air en le plaçant dans des meubles à échantillons soigneusement fermés.

Insister sur tant de détails matériels peut paraître superflu. Nous l'avons fait à dessein cependant, compte tenu de la certitude que nous avons acquise de contaminations, insoupçonnées et incontestables, de quelques-uns de nos échantillons ou de leur contenant après la récolte. Ceci est plus facilement évident pour le palynologue qui a lui-même prélevé ses échantillons, en une région dont il connaît l'environnement.

II - TRAITEMENT DES ECHANTILLONS (1) ET EXAMEN MICROSCOPIQUE DE LA FRACTION RESIDUELLE.

Les risques de contamination que nous évoquions à l'instant se trouvent multipliés au moment du traitement des échantillons, alors que ceux-ci sont soumis à un certain nombre d'opérations, physiques ou chimiques, qui les mettent en contact avec l'atmosphère plus ou moins longuement. C'est encore l'expérience de ces risques qui a été décisive et nous a conduite à nous entourer de conditions matérielles nous donnant une certaine sécurité, quant au milieu dans lequel ont été menées les différentes étapes du traitement.

1) Conditions matérielles dans lesquelles ont été opérées les préparations.

Au sein du laboratoire a été isolée une "cellule-laboratoire" de 3 m x 3 m, aménagée de façon telle que peut y être conduit tout le processus

(1) Je ne saurai trop insister ici sur l'aide très précieuse qui m'a été apportée pendant cinq années, dans cette partie délicate et ardue de mon travail, par M. Guy RIOLLET, Collaborateur technique au Laboratoire de Géologie du Quaternaire. Je lui renouvelle toute mon amicale reconnaissance.

de traitement des échantillons. Cette cellule a été construite à partir d'éléments préfabriqués à doubles parois vitrées, assemblés par des joints étanches. L'aération en est assurée par un puissant ventilateur à 2 vitesses, qui y introduit de l'air pulsé, à travers un système combiné de deux filtres superposés, en polyamide, dont l'efficacité est de 100% pour les particules de taille supérieure ou égale à 10 μ . La cellule se trouve ainsi en surpression par rapport au laboratoire dans lequel elle se trouve, ce qui supprime les risques de contamination par l'atmosphère extérieure. L'air en est éliminé par une hotte à évacuation haute et basse, entraînant les vapeurs consécutives aux traitements chimiques. Tout objet introduit dans la cellule ou devant servir aux manipulations est préalablement soigneusement nettoyé. Des précautions vestimentaires sont également prises par les personnes qui sont amenées à y pénétrer. Il n'en reste pas moins qu'il subsiste un pourcentage de risques de contamination, dont l'élimination s'est avérée jusqu'à présent impossible, dans les conditions matérielles dont nous disposons. Nous avons atteint sur ce point les limites de notre méthode : nous avons pu les vérifier, bien que les conséquences en restent minimes.

2) Techniques expérimentées.

Après avoir expérimenté longuement les techniques classiques d'extraction des pollens sur quelques soixante échantillons qui nous avaient été confiés au laboratoire, avant que nous puissions récolter nous-même notre matériel dans une première mission et, travaillant sur des quantités de sédiments équivalentes à celles habituellement traitées par les palynologues (15-20 gr), nous n'avions abouti, à de rares exceptions près, qu'à des échecs et nous nous demandions s'il restait encore possible d'envisager une étude palynologique des formations récentes, en cette région du Sahara. Dès le début de cette étude, il s'avérait déjà que les sédiments ne contenaient, qu'exceptionnellement, de la matière organique autre que de très rares pollens et que la fraction à éliminer était essentiellement minérale, quartzeuse et carbonatée. Inefficaces étaient alors la classique méthode de G. ERDTMAN (1943), le mélange de SCHULTZ (1855) pourtant utilisable pour le traitement de sédiments du Hoggar (A. PONS et P. QUEZEL, 1957), ou les méthodes basées sur le

principe de décantation en liqueur dense (méthode de GRITCHOUK, 1940 et technique utilisant Cl_2Zn). Nous citerons seulement les principaux auteurs dont la synthèse des techniques classiques a guidé nos recherches au début de cette étude : C. SITTLER (1955), I.M. POKROSKAIA (1958), C.A. BROWN (1960), K. FAEGRI et J. IVERSEN (1960).

C'est alors que fut mis au point, dans le cadre des travaux du Laboratoire de Palynologie du Museum à Paris, l'emploi de techniques et d'appareils nouveaux destinés à extraire, par des moyens physiques, la matière organique des sédiments pauvres. L'une de ces méthodes repose sur l'utilisation d'ultra-sons émis à une fréquence déterminée (100 KC) pour disperser, sans endommager les pollens, les agrégats organiques ou minéraux les emprisonnant, préparant ainsi le sédiment pour tout traitement physique ou chimique ultérieur (P. DUMAIT, 1962 a). Deux autres procédés consistent à séparer la fraction organique pollenifère, de la fraction minérale lourde :

- soit en plaçant le sédiment dans une liqueur dense (Cl_2Zn , $d=1,85$), au sein de laquelle sont entretenues des microvibrations provoquant la décantation des particules lourdes : principe du vibro-séparateur (P. DUMAIT, 1962 b, 1962 c).

- soit en mélangeant le sédiment à un liquide contenant un agent moussant (alcool polyvinylique), la fraction légère se trouvant entraînée par le phénomène de moussage (P. DUMAIT, L. MARCEAU, C. DEVIN, M. VAN CAMPO, 1963).

Les diverses publications citées précédemment ont fait l'objet d'une synthèse publiée sous le titre : "Nouvelles techniques physiques d'enrichissement pour l'analyse pollinique des sédiments" (P. DUMAIT, 1964, thèse de 3ème cycle). Ces techniques nouvelles, expérimentées sur nos sédiments particulièrement pauvres en pollens, se sont révélées encore insuffisantes, ne permettant pas de traiter plus de 20 à 40 gr de sédiment.

Ce n'est finalement qu'en décidant de multiplier largement les quantités de sédiment traitées et en adaptant aux échantillons sahariens, partiellement du moins, la classique méthode chimique utilisée par K. FAEGRI

et J. IVERSEN (1960, 1964), que nous avons réussi à obtenir les quelques résultats positifs, mais modestes qui sont rassemblés dans cette étude. Dans le temps qui nous était imparti pour mener ce travail à son terme, il a été impossible de traiter l'ensemble des sédiments récoltés (270 échantillons seulement ont été préparés pour l'analyse, choisis bien entendu en fonction de l'orientation stratigraphique que nous souhaitions donner à ces recherches). De même nous nous sommes trouvée dans l'impossibilité d'analyser tous les échantillons traités et nous avons dû sélectionner les séries qui nous ont paru les plus typiques de tel ou tel cycle sédimentaire, sans pour autant savoir si elles étaient les plus favorables à l'analyse pollinique. Cette étude rassemble les résultats de 210 analyses.

Les poids de sédiment traités seront rappelés dans le commentaire de chaque analyse : ils sont variables, mais la moyenne se situe approximativement entre 200 et 300 gr. Certaines analyses positives, parmi les plus anciennes, ont été réalisées sur des poids plus faibles. D'autres, par contre, ont nécessité 400 à 500 gr de sédiment. Ceci suppose, du point de vue technique, des manipulations délicates, des temps de traitement très longs et l'utilisation de quantités considérables des produits chimiques employés (acide chlorhydrique et fluorhydrique notamment).

3) Processus adopté pour le traitement des échantillons.

a) Les sédiments à traiter sont extraits de leur emballage de toile ou de papier, au moment-même d'être introduits dans la "cellule-laboratoire". Les fractions destinées à l'analyse sont placées dans des boîtes à vivres (contenance 500 et 750 gr), se ferment par un couvercle à vis qui assure une bonne protection de l'échantillon et une certaine étanchéité aux vapeurs chimiques. Les boîtes sont alors pesées.

Nous avons adopté, au début de cette étude, le principe d'un broyage des échantillons consolidés afin d'accélérer leur attaque par les produits chimiques. Nous avons dû exclure ce broyage qui était responsable d'une trop grande production de poussière contenant probablement des pollens. Fractionner l'échantillon était, d'autre part, l'exposer à une contamination

possible par l'atmosphère ambiante.

b) Tout échantillon consolidé est décalcifié en surface : plongé dans l'acide chlorhydrique à 10%, puis lavé à grande eau, il est ainsi décapé et débarrassé des éventuelles contaminations de surface, celles venant du terrain entre autres.

Tous les échantillons meubles ou consolidés sont alors décalcifiés avec de l'acide chlorhydrique pur. Pratiquement, tous les sédiments sabariens traités se sont révélés calcaires, sauf lorsqu'il s'agit de sables d'origine franchement éolienne. Cette phase de décalcification peut durer deux ou trois jours pour les échantillons les plus volumineux et les plus riches en carbonates. Elle est suivie d'une dilution de l'acide, de décantations et siphonages répétés deux ou trois fois.

c) Les sédiments les plus calcaires contiennent toujours une fraction sableuse abondante, dont l'élimination est la phase la plus longue du traitement, la plus dangereuse aussi en raison de la toxicité de l'acide fluorhydrique. Cette opération (G. ASSARSON et E. GRANLUND, 1924) doit être menée avec précaution, étant données les réactions violentes dues aux quantités d'acide utilisées et nécessite, le plus souvent 10 à 15 jours, voire même davantage. L'acide concentré à 70% est renouvelé les premiers jours, afin d'éviter une saturation trop rapide en sels néoformés. Le sédiment qui décante très vite, doit être fréquemment remis en suspension par agitation dans le milieu acide.

Après traitement prolongé et jugé suffisant, la suspension est étendue d'eau. Une série de quatre ou cinq lavages (addition d'eau, décantation, siphonage) sont nécessaires pour éliminer l'acide, après lesquels est recueillie une fraction insoluble contenant les pollens. Il subsiste généralement encore des éléments minéraux grossiers que l'on isole par quelques lavages et décantations rapides, mais surtout une abondante fraction colloïdale que constituent les fluosilicates insolubles néoformés.

d) Ces fluosilicates, par l'importance de leur volume, ont été pendant longtemps un obstacle à la poursuite du traitement : leur dissolution est maintenant rapidement obtenue, en versant la phase résiduelle précédente dans un bécher de 800 cc que l'on remplit d'acide chlorhydrique dilué à 10%. Le bécher est alors placé sur une plaque chauffante à agitation magnétique pendant une heure environ, opération au terme de laquelle la dissolution des fluosilicates est en principe obtenue. Il n'y a plus qu'à laisser décanter la fraction susceptible de contenir les pollens, le liquide surnageant étant ensuite éliminé par siphonage. La fraction pollenifère est alors centrifugée.

e) Le culot de centrifugation est lavé plusieurs fois, puis couvert d'une solution de potasse à 10%. Le mélange est placé dans des béchers de 200 cc et porté à ébullition, puis décanté et centrifugé. A ce stade les acides humiques, à peu près toujours présents, sont solubilisés. On les élimine par plusieurs lavages à l'eau distillée chaude jusqu'à ce que le liquide devienne parfaitement clair. Ce stade marque généralement le terme du long processus de traitement des échantillons.

Le sédiment résiduel, après centrifugation, se présente sous un volume de 1 à 2 dixièmes de cc. S'il comporte encore une fraction minérale mal éliminée et devant gêner l'analyse, il arrive que l'on doive le traiter de nouveau par une ébullition dans l'acide fluorhydrique à 40% cette fois, suivie de lavages pour dissolution des fluosilicates. On peut également à ce stade opérer une décantation en liqueur dense.

En fin de traitement, le sédiment est coloré par la fushine basique et s'il doit être conservé avant d'être analysé, le culot de centrifugation est couvert d'une goutte de glycérine.

4) Examen microscopique de la fraction résiduelle.

Pour le montage des lames destinées à l'analyse, des prélèvements sont effectués dans le culot de centrifugation à l'aide d'une spatule et placés dans une goutte de glycérine déposée sur la lame. Le sédiment est recouvert d'une lamelle rectangulaire (22 x 32 mm)

Les lames analysées ont été observées à l'objectif 10x (ou 40x lorsque le milieu contient trop de minéraux autres que du quartz, non éliminés, du gypse notamment), les pollens colorés y étant facilement repérables. La détermination a été faite à l'objectif 60x pour les pollens fréquemment rencontrés (*Ephedra*, Chénopodiacees, Graminées par exemple) sauf lorsqu'il s'est agi d'observer, chez ces derniers, des détails de structure nécessitant une observation en immersion. Les mensurations ont été faites également à l'objectif 60x. Tous les autres pollens ont été observés à l'objectif à immersion. La fluidité du milieu de montage permet, par une simple pression sur la lamelle, de faire se déplacer les pollens et de les observer sous divers angles. Les lames n'ont généralement jamais été lutées avant l'analyse de façon à permettre le repérage des pollens situés au voisinage des bords de la lamelle et éventuellement de les y observer précisément : il y a été relativement fréquent de rencontrer des pollens dont l'observation ne pouvait être négligée en raison de leur intérêt. Lors du montage, la lamelle est seulement fixée à ses quatre angles par une goutte de "glyceel" de Gurr de façon que le montage ne soit pas déplacé en cours d'analyse.

Addendum.

Mention doit être faite, dans ce paragraphe, de l'existence récente du premier "microscope de comparaison", dispositif mis au point par les établissements LEITZ. L'appareil est composé de deux microscopes LABORLUX, réunis par un pont optique qui porte un système binoculaire, permettant l'observation simultanée des images transmises par chacun des microscopes. Cet appareil, qui donne la possibilité de comparaisons très précises au niveau spécifique principalement, entre un pollen fossile et celui des espèces actuelles auxquelles on cherche à le comparer, a été disponible alors que la partie purement analytique de nos recherches était pratiquement terminée. Cependant, à l'occasion d'un séjour, en 1969, au Laboratoire de Palynologie de Montpellier, j'y ai largement bénéficié de la présence de ce microscope, grâce auquel j'ai repris l'observation d'un certain nombre de pollens, dont la détermination spécifique a pu être précisée ou du moins

approchée. Cet appareil a été, depuis, acquis par le Laboratoire de Géologie du Quaternaire de Bellevue, mais trop tard pour être utilisable pour cette présente étude, à laquelle le délai qui m'est imparti, m'oblige à mettre un terme. Il est regrettable de ne pouvoir davantage tirer parti, dans ce travail, des avantages de ce nouvel instrument de détermination.

Avec beaucoup d'insistance, il a été fait allusion aux difficultés nombreuses et d'ordres divers, auxquelles nous nous sommes heurtée au cours de ces recherches. Cette insistance est volontaire car, à partir du moment où l'on accepte de voir la palynologie s'orienter vers des études de sédiments pauvres, en des régions qui s'éloignent du champ européen d'investigation des dernières décades et principalement, dans des territoires actuellement désertiques, il faut s'attendre à rencontrer des obstacles au niveau des détails techniques les plus simples. Nous n'hésitons pas à dire ici, que plusieurs années ont été nécessaires à la recherche d'une technique de préparation valable, bien qu'encore insatisfaisante, pour nos échantillons, ainsi qu'à la réalisation matérielle d'un milieu de travail assurant au maximum, dans le présent, l'élimination des risques de contamination par l'atmosphère ambiante. Nous ne saurions trop insister sur les précautions que nécessite la palynologie saharienne tant sur le terrain qu'au laboratoire.

CHAPITRE VII

FAMILLES, GENRES OU ESPECES REPRESENTES PAR LEURS POLLENS DANS LES SEDIMENTS ETUDIES : LEUR CLASSEMENT PHYTOGEOGRAPHIQUE

Le but que nous nous sommes fixé à l'origine de ces recherches, à savoir une éventuelle reconstitution du paysage végétal lors du Néogène puis au cours du Quaternaire, dans le cadre d'une stratigraphie préalablement connue et selon laquelle a été fait le choix des échantillons analysés, orientera la présentation des résultats de notre étude, chacune des périodes étudiées et chacun des sites leur correspondant étant ainsi envisagés successivement, suivant la chronologie préétablie. Nous avons déjà défini dans l'introduction, le mode d'expression qui nous paraissait convenir le mieux à l'ensemble des résultats qui se sont avérés pauvres et qui, pour autant, n'en méritent pas moins d'être retenus comme le témoignage de faits botaniques, dont nous verrons combien ils imposent une interprétation délicate et prudente. Ainsi nous serons amenée à donner, en suivant la chronologie, une succession de tableaux détaillant, pour les divers sites choisis, la microflore pollinique déterminée, ces tableaux étant accompagnés de commentaires conduisant à un essai de compréhension de ce qu'ils suggèrent. Pour deux raisons cependant, il est apparu qu'il était peut-être opportun de ne pas introduire le lecteur directement dans cette partie consacrée à la palynologie stratigraphique, sans l'avoir auparavant informé de la composition globale de la microflore qu'il y rencontrera, ainsi que de la façon dont nous avons matériellement conçu l'organisation de ces tableaux :

a) il nous a semblé que dans le cadre d'une juxtaposition d'analyses, même accompagnées de leur commentaire et des conclusions éventuelles possibles au niveau du site ou plus largement du cycle sédimentaire, chacune de ces analyses ne pouvait vraiment devenir suggestive à l'esprit du lecteur,

que dans la mesure où ce dernier aurait la possibilité d'en situer les résultats par rapport à la connaissance anticipée de toute la variété possible de composition de la flore pollinique globale. Ce qui peut-être, plus précisément, nous amène à percevoir cette nécessité, c'est paradoxalement la pauvreté relative du point de vue quantitatif aussi bien que qualitatif de la plupart des analyses, pauvreté au-delà de laquelle il n'est sans doute pas inutile de pouvoir pressentir la possibilité éventuelle d'une plus grande diversité de la microflore dans le passé, diversité probablement limitée ensuite par des causes secondaires, conditions défavorables de fossilisation par exemple.

Avant de conduire le lecteur à travers une découverte de la flore fossile, analyse après analyse, démarche indispensable à l'ordre stratigraphique pour lequel nous avons opté, nous avons ainsi pris le parti de lui donner un aperçu de l'ensemble de la microflore déterminée.

b) mais plus importante est la seconde raison pour laquelle nous avons cru devoir présenter cet aperçu : c'est la reconnaissance même, dans l'ensemble de la microflore pollinique, de catégories entre lesquelles nous allons être amenée à classer les pollens des familles, genres ou espèces qui la composent. De ce classement dépendra la présentation des tableaux d'analyses et les commentaires qui leur seront afférents. A ces catégories, sera liée une question de terminologie qu'il conviendra de bien préciser. Cette terminologie étant employée dans un sens différent selon les auteurs, il s'impose de ne laisser subsister aucune ambiguïté quant à la signification des termes utilisés.

I - FAMILLES, GENRES OU ESPECES REPRESENTES PAR LEURS POLLENS DANS L'ENSEMBLE DE CETTE ETUDE.

Avant de présenter cette flore pollinique, nous insisterons sur le fait que ces listes n'ont ici de valeur que du point de vue qualitatif. Ceci rejoint ce que nous exprimions précédemment : le souci de retenir l'attention sur la nature de la flore traduite par ses pollens, quelle que soit l'importance de la représentation des divers familles, genres ou espèces,

aspect quantitatif sur lequel nous reviendrons ultérieurement et que nous livreront les analyses envisagées individuellement. Il est très important d'aborder ces listes de pollens dans un esprit tout à fait détaché de toute préoccupation d'ordre numérique, faute de quoi on risquerait de se faire une idée erronée de la flore fossile. Nous insistons d'autant plus que, pour un certain nombre d'entre elles, les essences rencontrées ne manquent pas d'être surprenantes. C'est la raison pour laquelle, l'intérêt tout particulier qu'elles risquent de susciter ne doit pas entraîner à leur accorder une importance et une signification qui dépasseraient de très loin celles qu'elles doivent recouvrir en réalité. Compte tenu de toute cette prudence nécessaire, nous reconnaissons dans la microflore fossile déterminée au cours de cette étude, les catégories suivantes :

1) Flore pollinique représentant des genres arborescents vivant actuellement en région tempérée, certains existant en Afrique du Nord :

<i>Alnus</i>	)	
<i>Castanea</i>	)	
<i>Taxus</i>	)	actuellement en Afrique du Nord, aire très
<i>Ulmus</i>	)	localisée sauf pour <i>Ulmus</i> , <i>Fraxinus</i> et
<i>Fraxinus</i>	)	<i>Salix</i> .
<i>Salix</i>	)	

formes bétuloïdes (*Betula* actuellement dans le Rif)

Tilia

Carpinus

Corylus

Platanus orientalis

Aesculus (deux types polliniques différents)

Juglans (vit actuellement en Afrique du Nord mais non à l'état spontané)

Pterocarya

Carya

Zelkova

Myrica faya (vit actuellement à Madère, aux Canaries, aux Açores et au Portugal, le problème de cette espèce sera ré-envisagé ultérieurement)

2) Flore pollinique représentant des genres et espèces arborescents pour la plupart, présents dans la région occidentale du bassin méditerranéen, en Afrique du Nord notamment :

Cedrus (dont *C. atlantica* déterminé)

Pinus cf. *halepensis*

Pinus type "*laricio*"

Cupressacées (*Juniperus* et *Cupressus*)

Quercus type "*ilex*" (*Q. ilex* et *Q. coccifera* notamment)

Quercus sp. (plusieurs espèces)

Olea cf. *europaea*

Pistacia (plusieurs espèces probablement)

Erica arborea

Celtis cf. *australis*

Vitis vinifera

Myrtus communis

Rhus cotinus.

Bien qu'appartenant à une famille groupant des genres vivant en région tropicale, nous placerons ici le genre *Argania* (Sapotacée), endémique du Sud-marocain, seul représentant de cette famille en région aussi septentrionale. Il peut être choquant de le voir placé à côté des essences méditerranéennes puisque, nous le verrons, il vit dans un secteur qui bénéficie des influences atlantiques. Toutefois il semble plus à sa place ici que si nous l'avions associé au groupe suivant. Disons qu'il faudrait pouvoir isoler, en position intermédiaire entre les deux groupes, ce genre d'origine tropicale dont l'écologie est méditerranéenne !

3) Flore pollinique représentant des familles ou des genres actuellement présents en région tropicale ou sub-tropicale.

Acacia raddiana

Acacia [groupe des "gommières"]

Cassia (plusieurs espèces)

Anogeissus (Combrétacée)

Combrétacées-Mélastomatacées (dont *cf. Combretum* et *Combretum*)
Commicarpus (Nyctaginacées)
Boerhavia (Nyctaginacées)
Sapotacées (autres que *Argania*)
Hymenocardia (Euphorbiacées)
autres Euphorbiacées
Indigofera (Papilionacées)
Syzgium (*S. guineense* ?) Myrtacée
Rhus (espèce ni saharienne ni méditerranéenne)
Pittosporum (Pittosporacées)
Crataeva religiosa (Capparidacée)
Allophyllus (Sapindacée)

4). Flore pollinique représentant une pseudo-steppe herbacée avec formes buissonnantes, composée de familles, genres ou espèces à affinités méditerranéennes, dont quelques-uns sont actuellement inféodés au milieu désertique (endémisme élevé) :

Rhus cf. tripartitum
Ziziphus lotus (Rhamnacée)

Ephedra cf. alata

Chénopodiacée type "*Atriplex*" et autres Chénopodiacées

Composées tubuliflores

Composées liguliflores

Artemisia (plusieurs espèces) (Composée)

Graminées

Paronychia arabica (Caryophyllacée)

autres Caryophyllacées dont *Sclerocephalus arabicus*

Silene setacea

Plantago

Ombellifères (plusieurs genres)

Crucifères

Polygonacées (*Calligonum*, *Rumex*)

Boraginacées (*Echium*, *Heliotropium*, *Moltkia ciliata*
et un autre genre indéterminé)

Helianthemum Cistus (Cistacées)

Liliacées (*Asphodelus*, *Androcymbium gramineum*)

Papilionacées (*Lotus cf. jolyi*, *Lotus roudairei*, *cf. Astragalus*
et un genre indéterminé)

Zygophyllacées (*Fagonia*, *Zygophyllum*, *Pegonium*)

Cyperus conglomeratus (Cypéracée non hygrophile)

Neurada procumbens (Rosacée)

autre Rosacée

Labiées

Limoniastrum cf. feei (Plumbaginacée)

Reseda cf. villosa (Résédacée)

cf. Résédacées

Samolus valerandi (Primulacée)

Cistanche (Orobanchée)

Haplophyllum buschaumi (Rutacée)

Hyoscyamus albus (Solanée)

Urticacées

Convolvulacées

Renonculacées

Géraniacées

Malvacées

cf. Scrofulariacées

5) Flora pollinique représentant des formes hygrophiles

Tamarix (Tamaricacée)

Typha angustifolia (Typhacée)

Cypéracées

Potamogetonacées

Notons la présence de quelques spores de Ptéridophytes liées probablement à un milieu sub-humide local.

Cette longue liste d'essences dont nous avons déterminé les pollens au cours de notre étude, nous amène à reconnaître dans l'ensemble de la flore fossile et à travers les catégories déterminées, une juxtaposition de composantes d'origines très diverses qui, si elle paraît artificielle dans cette vue d'ensemble, n'en est pas moins réelle, bien que plus ou moins accentuée, au niveau des données propres à chacune des analyses qui suivront. Cette pluralité d'origine caractérisant la microflore en question, suggère spontanément la qualification des catégories en présence, du terme "élément", à travers lequel nous rejoignons l'expression de très nombreux botanistes et phytogéographes. C'est le sens selon lequel nous utiliserons ce terme qu'il convient maintenant de préciser.

II - SENS DONNE AU CONCEPT "ELEMENT" ET CLASSIFICATION ADOPTEE.

Rappelons que la notion d'"élément phytogéographique" a déjà été abordée lorsqu'il s'est agi de définir les termes principaux de la nomenclature utilisée par les phytogéographes (cf. chapitre II). Nous avons alors insisté sur la trop grande facilité avec laquelle ce terme s'est trouvé employé, pour permettre le regroupement de plantes ayant des affinités très diverses. Deux conceptions toutefois se sont plus précisément affirmées :

- celle de A. EIG (1931) et des nombreux auteurs qui l'ont suivi dans sa pensée, selon laquelle l'"élément phytogéographique" est l'expression floristique de la "région phytogéographique". La notion d'"élément" est ici envisagée dans un sens purement géographique.

- celle déjà anciennement pressentie par DIELS (1917) et dernièrement adoptée par P. QUEZEL (1965 a, 1965 b). Ce dernier auteur, selon une formulation qui lui est propre rejoint, à travers les expressions "essences de souche septentrionale", "essences de souche tropicale" la notion d'"élément", qui revêt ici un sens historique avec tout ce que cette orientation suppose de souci de compréhension de l'origine des *taxa* constituant la flore saharienne actuelle qui fait l'objet des travaux cités.

Comme nous l'avons exprimé au début de ce chapitre, notre propre but étant précisément de rechercher si, par la méthode de l'analyse pollinique, une évolution de la flore est décelable au cours des temps envisagés, c'est tout naturellement dans son sens historique, à travers lequel on perçoit tout à fait l'aspect dynamique de cette évolution, que s'impose à notre esprit la notion d'"élément". Aussi nous avons adopté de fonder sur cette notion ainsi comprise, la classification des familles, genres et espèces déterminés : selon le principe de cette classification seront dressés les tableaux récapitulatifs de chaque analyse. Nous rejoignons d'ailleurs particulièrement, dans ce mode d'expression, le choix fait par Ph. GUINET (1970) dans son étude des sédiments néolithiques d'Amekni (Hoggar). Deux grandes divisions se dessinent selon lesquelles seront distingués :

- un "élément" ou un groupe d'"éléments de souche ou d'origine tropicale".
- d'un "élément" ou groupe d'"éléments de souche ou d'origine mésogéenne".

1) A propos des "éléments d'origine tropicale" il ne s'impose guère de commentaire : ils constituent un ensemble assez homogène d'essences qui, pour la plupart, sont tout à fait méridionales par rapport à la limite sud du désert et dont le caractère tropical-sub-tropical est donc parfaitement bien établi. Quelques-unes d'entre elles atteignent aujourd'hui les régions sahariennes. Le seul genre qui y trouve une large extension est le genre *Acacia*. D'autres pénètrent au Sahara central et méridional comme des témoins dans ces régions, d'un régime climatique marqué plus ou moins localement d'influences soudanaises. La présence du genre *Argania* au Maroc sera l'objet d'une discussion ultérieure.

2) Beaucoup plus délicate est l'interprétation, dans la flore pollinique étudiée, du groupe des "éléments d'origine mésogéenne". P. QUEZEL a exprimé la même réalité en parlant d'"essences de souche septentrionale", mais dans le cadre de cette étude, le terme "septentrional" nous semble laisser planer le risque d'une ambiguïté quant à l'extension géographique

que l'on supposerait trop spontanément à travers cette expression. Nous aurions pu choisir le terme "méditerranéen" ("éléments d'origine méditerranéenne") : ce dernier toutefois est apparu trop restrictif, évoquant plus naturellement à notre esprit le bassin méditerranéen occidental. En effet, nous venons plus haut de signaler la présence, dans les analyses, d'une catégorie de pollens d'essences vivant actuellement en région tempérée, nous souvenant en même temps de l'hypothèse précédemment proposée pour le Sahara central (M. VAN CAMPO, Ph. GUINET et coll., 1964-1967) selon laquelle les plantes tempérées présentes en cette région, au Quaternaire, seraient relictuelles d'une flore tertiaire et issues, partiellement du moins, des régions montagnardes de méditerranée orientale. C'est pourquoi nous avons vivement ressenti la nécessité de donner au terme "méditerranéen" l'acceptation la plus large possible, en lui préférant le qualificatif "mésogéen".

C'est au sein même de ce groupe d'"éléments d'origine mésogéenne", que s'impose une distinction entre des "éléments" qui, eu égard à leur répartition géographique actuelle, correspondent de toute évidence à des ensembles de plantes à affinités diverses, que nous avons d'ailleurs reconnues à travers la classification précédemment donnée. Ainsi, placés sous le même titre : "éléments d'origine mésogéenne" seront rassemblés :

a) les éléments à caractère tempéré, le qualificatif "tempéré" pouvant avoir une signification très large.

b) les éléments à caractère méditerranéen *sensu stricto*, c'est-à-dire vivant dans le présent, en bordure du bassin méditerranéen occidental et dont la majorité appartiennent à la flore forestière actuelle d'Afrique du Nord.

Notons la relative facilité de détermination, au niveau du genre, des pollens des essences entrant dans ces deux premiers groupes.

c) les éléments à caractère désertique, sub-méditerranéen ou méditerranéen, constitutifs d'une pseudo-steppe herbacée comptant des formes buissonnantes ou arbustives. Au niveau de cet ensemble, la détermination de

l'appartenance des pollens à des essences strictement adaptées au milieu désertique ou plus nettement méditerranéen, est particulièrement délicate et très souvent impossible à établir. Il arrive fréquemment que l'analyse pollinique ne permette pas de détermination au-delà de la famille et nous avons déjà eu l'occasion de dire que celle des Zygophyllacées est, parmi la flore saharienne, la seule dont le plus grand nombre des espèces sont typiquement désertiques. Par ailleurs un petit nombre de genres seulement sont inféodés au milieu saharien : c'est pourquoi, dans la mesure où l'analyse pollinique ne permet pas toujours d'atteindre, au niveau spécifique, la connaissance précise des *taxa*, il devient très difficile d'apprécier le caractère désertique, ou méditerranéen plus ou moins accentué, des essences en présence. Pour cette raison, à côté des éléments à caractère tempéré et des éléments à caractère méditerranéen *sensu stricto*, il nous est apparu difficile d'admettre un élément qualifié seulement, d'"élément désertique", recouvrant tout le reste de la microflore, car parmi cette flore pollinique, nous ne pouvons que partiellement reconnaître ce qui est effectivement strictement saharien.

Nous appuierons d'un exemple la nécessité de cette réserve, bien que cela nous amène à anticiper quelque peu, sur un point que nous aurons l'occasion de ré-envisager : c'est le cas de l'ensemble des pollens d'Ombellifères qui ont été reconnus dans les analyses. Nous pouvons, d'ores et déjà, avancer avec quasi-certitude, que ces pollens n'appartiennent pas au très petit nombre des formes actuellement présentes dans la région étudiée. Il est donc vraisemblable qu'ils représentent des espèces à caractère méditerranéen vivant actuellement, pour certaines d'entre elles du moins, dans les régions plus septentrionales d'Afrique du Nord. Il n'est plus possible alors de faire entrer ces pollens dans un groupe d'éléments que nous qualifierions simplement du terme "désertiques". Très probablement cela est vrai au niveau d'autres genres ou familles pour lesquels nous n'avons pas eu la possibilité de déterminations précises. C'est pourquoi, dans notre classification, les "éléments d'origine mésogéenne" recouvriront, à côté des éléments à caractère tempéré ou à caractère méditerranéen *s.s.*, dont la détermination est

relativement aisée, au moins quant aux genres, cette dernière catégorie des "éléments désertiques - sub-méditerranéens - méditerranéens", sachant que le caractère des uns et des autres sera mis en évidence toutes les fois où ce sera possible.

Nous considérerons à part l'ensemble des pollens appartenant à des plantes de milieux humides ou sub-humides.

Il ressort de ces quelques réflexions, l'impression qu'il n'est pas aisé de traduire, avec les moyens d'expression dont nous disposons, les nuances dont on doit entourer le "concept élémentaire", selon l'acception ici adoptée. Nous nous efforcerons d'en respecter le sens dans toute la mesure du possible, en évitant surtout dès à présent, d'utiliser le terme "élément" comme un moyen facile de traduire une notion d'ordre purement botanique du moins, selon une orientation autre que celle que nous avons essayé de définir.

CHAPITRE VIII

QUELQUES DONNEES DE MORPHOLOGIE POLLINIQUE POUR PERMETTRE UNE MEILLEURE COMPREHENSION DE LA TERMINOLOGIE UTILISEE DANS LES ANALYSES.

Nous voudrions en un très court chapitre, présenter ici de façon simple quelques notions fondamentales les plus couramment utilisées en morphologie pollinique, afin que la terminologie à laquelle nous serons amenée à faire appel à l'occasion de nos descriptions de pollens, soit accessible à qui n'est pas palynologue. Ces quelques pages ne prétendent nullement être un exposé exhaustif de la nomenclature propre aux morphologistes, ce qui dépasserait de loin d'ailleurs les compétences d'un palynologue utilisant la morphologie dans le but de l'analyse. C'est pourquoi, elles ne sont absolument pas destinées aux palynologues mais à tous ceux pour qui le langage de ces derniers n'est pas familier. Dans la bibliographie seront cités un certain nombre d'ouvrages fondamentaux apportant les éléments de base indispensables au morphologiste, aussi bien qu'à celui qui pratique l'analyse pollinique. Cependant, les quelques données rassemblées dans les pages qui suivent ont été, pour la majorité d'entre elles, empruntées à l'introduction proposée par M. VAN CAMPO (1957) à l'étude qu'elle entreprenait alors sous le titre "Palynologie africaine", publiée dans le bulletin de l'IFAN. Cette introduction, par sa simplicité, nous a paru répondre le mieux au but que nous nous proposons, en nous donnant les bases d'un exposé que nous voulions le plus possible schématique.

I - GENERALITES.

Le dernier stade de l'évolution des cellules génératrices des éléments reproducteurs mâles que sont les grains de pollen, est la division, après réduction chromatique, d'une cellule-mère, en quatre loges disposées

le plus couramment dans un même plan, en carré, ou au contraire selon deux plans perpendiculaires, en tétraèdre : c'est à ce stade "tétrade" que va s'individualiser, à l'intérieur de chaque loge, un grain de pollen libéré dans l'anthère après maturation (figure 10, A1-2). Tout grain de pollen ayant acquis sa maturité est une cellule vivante dont la membrane externe, l'exine, extrêmement résistante, est précisément l'élément dont la conservation s'est trouvée possible au cours des temps géologiques. Chaque grain de pollen ayant le pouvoir de devenir fécondant, sa capacité de germination est assurée par la présence, à sa surface, de zones de moindre résistance dans l'exine (amincissement de l'exine à ce niveau) : ces zones permettant la sortie du tube pollinique sont nommées apertures. Anticipant quelque peu, pour la facilité de cet exposé, sur les définitions ultérieures, nous préciserons seulement, dès maintenant, que l'exine est elle-même formée de deux couches : l'ectexine, la plus externe et l'endexine, interne et que les apertures peuvent être soit circulaires (ce sont alors des pores), soit allongées (ce sont alors des sillons). Notons que le contenu du grain de pollen est protégé par une membrane interne, l'intine, qui forme la paroi du tube pollinique au moment de la germination. Ces derniers constituants, dépourvus de résistance à la fossilisation comme aux traitements chimiques, échappent à l'observation du palynologue qui s'attache à l'analyse des individus fossilisés.

La disposition des zones germinales à la surface du grain n'est pas indépendante de l'orientation de ce grain dans la tétrade : ainsi, sur chaque pollen on distingue un pôle proximal, point le plus proche du centre de la tétrade, d'un pôle distal, point qui en est le plus éloigné, l'axe polaire joignant l'un à l'autre pôle.

Très schématiquement, nous dirons que les pollens de la plupart des Gymnospermes, ceux des Monocotylédones et ceux des Dicotylédones primitives présentent un phénomène d'hétéropolarie (pôle proximal et pôle distal dissémbles), une zone germinale unique se trouvant située en position distale, au contraire des pollens de la plupart des Dicotylédones, dont les deux pôles sont identiques (isopolarie) et les zones germinales disposées généralement

selon des méridiens équidistants. C'est ici beaucoup simplifier le problème que pose le passage de l'hétéropolarie à l'isopolarie; ces questions sont complexes et dépassent de très loin nos préoccupations immédiates : il était seulement important de signaler l'existence de ces deux types de pollens, hétéropolaires, isopolaires, puisque ce sont ici des termes que nous aurons l'occasion de citer. De même il ne s'imposait pas d'aborder le cas particulier des spores de Ptéridophytes, très peu souvent rencontrées dans nos analyses.

Ajoutons que les pollens, lorsqu'ils sont libérés dans l'atmosphère, peuvent rester réunis en tétrades (chez la plupart des Ericacées : Pl. XIX, figures 3, 4, 5) et que les tétrades elles-mêmes peuvent ne pas s'individualiser et rester soudées en polyades (dans le genre *Acacia* par exemple : Pl. XV, figures 16-17)

2) Symétrie et forme des pollens.

"La symétrie des pollens est en général définie par l'emplacement des zones germinales" (M. VAN CAMPO *loc. cit.*, p. 664). Nous envisagerons quatre cas que nous pouvons illustrer par des exemples empruntés à nos analyses :

a) Pollens ne possédant ni plan, ni axe de symétrie.

Tels sont, entre autres, les pollens ne portant qu'un petit nombre de pores irrégulièrement répartis à leur surface : les pollens du genre *Plantago* par exemple (Pl. XVI, figures 21-22).

b) Pollens possédant un centre de symétrie.

Ainsi sont considérés les pollens sphériques, sans apertures, tels ceux des Cupressacées (Pl. XX, figures 9-11), ou les pollens à très nombreuses apertures, Chénopodiacées entre autres (Pl. XXI, figure 9).

c) Pollens hétéropolaires possédant un axe de symétrie sans plan de symétrie perpendiculaire.

Nous pourrions choisir pour illustrer ce cas un pollen de Conifère bi-ailé, tel que *Pinus* ou *Cedrus* (figure 10,B) (Pl. XIV, figures 1 à 4), ou

bien un pollen de Monocotylédone (*Asphodelus* par exemple, rencontré dans nos analyses mais dont la photographie n'est pas significative : Pl. XXI, figure 4). Nous avons préféré retenir ici un pollen dont l'intérêt est tout particulier en raison de son origine tropicale et dont nous reparlerons ultérieurement : il s'agit du pollen d'*Allophyllus* (Pl. XIX, figures 9 à 12). Celui-ci présente en effet un pôle convexe et un pôle concave : la dissymétrie est visible sur les vues de profil (Pl. XIX, figures 11-12), bien qu'elles soient légèrement obliques. L'axe de symétrie y est d'ordre 3, les trois zones germinales étant bien visibles sur la coupe que présente la figure 10 de la planche XIX.

d) Pollens isopolaires, possédant un axe de symétrie et un plan de symétrie perpendiculaire à cet axe.

La symétrie peut être d'ordre 2, 3, 4, ... n. Le cas le plus fréquent chez les Dicotylédones est celui du pollen dont l'axe de symétrie est d'ordre 3. Sur ce type nous définirons quelques critères de détermination qui seront par la suite utilisés :

++ Les pollens ont été observés en vue polaire à laquelle correspond la coupe optique équatoriale, c'est-à-dire le plus grand diamètre perpendiculaire à l'axe des pôles (Pl. XVI, figures 1, 2) et en vue méridienne (orientation du pollen suivant l'axe des pôles) à laquelle correspond la coupe optique méridienne (Pl. XVI, figures 3, 4) (figure 9, C1-2).

++ Les dimensions, évaluées en microns, qui permettent de définir la forme générale du pollen sont : la longueur de l'axe des pôles (P) et le diamètre de la coupe optique équatoriale (E). La valeur du rapport P/E conduit à distinguer :

- des pollens équiaxes : $P = E$ (Pl. XXI, figures 12, 13)
- des pollens longiaxes : $P > E$ (Pl. XXI, figures 5, 6)
- des pollens bréviaxes : $P < E$ (Pl. XX, figure 14)

Il est également tenu compte de la mesure de "t", côté du triangle polaire (distance entre les extrémités de deux sillons) ou distance séparant deux pores équatoriaux.

++ Le contour de la coupe optique équatoriale peut être circulaire, triangulaire, lobé, etc. (figure 1Q, D 1 à 3). Un pollen angulaperturé est un pollen triangulaire dont les ouvertures sont situées aux angles (Pl. XV, figure 4 - Pl. XX, figures 12, 13).

++ Le contour de la coupe optique méridienne peut être circulaire (pollen équiaxe), elliptique (pollen longiaxe ou bréviaxe), équatorialo-constricté (figure 1Q, D 4 à 7), (Pl. XII, figures 7, 8).

A la suite de ces quelques données, permettant une meilleure compréhension de la terminologie utilisée pour définir la forme et la symétrie d'un pollen isopolaire à partir d'un type pollinique banal et fréquemment rencontré, précisons avec Mme VAN CAMPO à qui nous avons emprunté ces documents, que la symétrie d'ordre 3 peut être due :

- à la présence de 3 sillons disposés suivant trois méridiens : pollens tricolpés (ex. : Crucifères)
- à la présence de trois pores équidistants sur l'équateur du grain : pollens triporés (*Myrica faya*, Pl. XVI, figure 2)
- à la présence de trois sillons ayant un pore en leur centre et disposés suivant trois méridiens : pollens tricolporés (*Rhus*, Pl. XVII, figures 12, 13)
- à la présence de trois sillons sans pore alternant avec trois sillons avec pore, disposés suivant les méridiens : pollens hétérocolpés (ex. : *Heliotropium*). Ce sont ici les 3 sillons avec pores qui sont les véritables ouvertures et déterminent la symétrie du pollen.

La signification des termes tricolpé, triporé, tricolporé, hétérocolpé apparaîtra plus précisément dans le paragraphe suivant.

Afin d'illustrer d'autres possibilités de symétrie que celle d'ordre 3, nous proposons les vues suivantes :

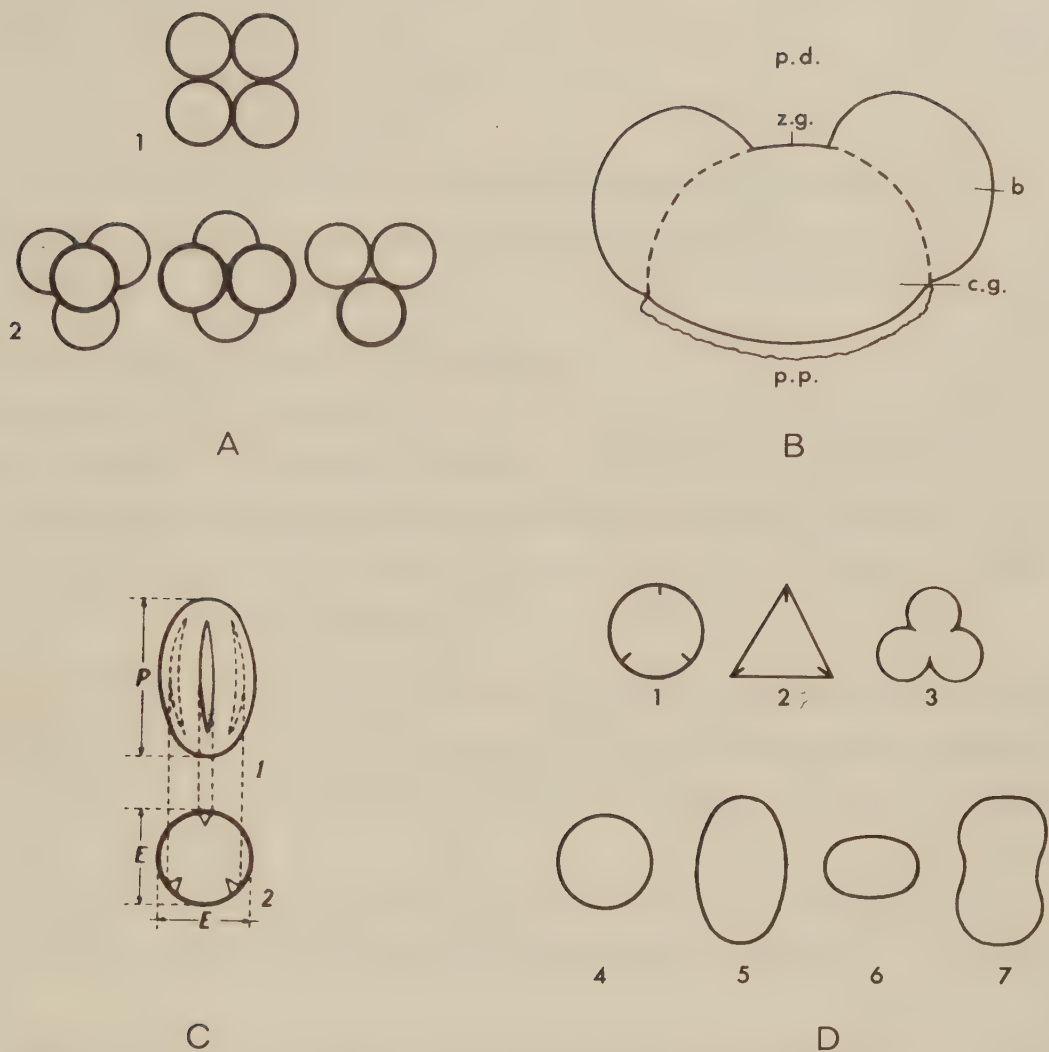


Fig. 10 - Symétrie et forme des pollens (d'après M. VAN CAMPO, 1957).

A : Les deux principaux types de tétrade - 1, tétrade carrée -
2 : tétrade tétraédrique, vue suivant ses différentes faces.

B : Pollen hétéropolaire (exemple : pollen bi-aillé de Conifère,
vu de profil) : axe de symétrie sans plan de symétrie per-
pendiculaire à cet axe.

p.d. : pôle distal - p.p. : pôle proximal - c.g. : corps du
grain - b : ballonnet - z.g. : zone germinale.

C : Pollen isopolaire. 1 : vue méridienne (P : axe des pôles),
2 : vue polaire (E : diamètre équatorial).

D : Forme des contours de grains de pollen isopolaires; quelques
exemples. 1,2,3 : vues polaires (1 : circulaire, 2 : triangu-
laire angulaperturée, 3 : lobée) - 4,5,6,7 : vues méridiennes
(4 : circulaire, 5 : elliptique longiaxe, 6 : elliptique bré-
viaxe, 7 : équatorialo-constrictée).

Pl. XV, figure 20 : pollen indéterminé, symétrie d'ordre 4.

Pl. XVI, figures 5, 6 : pollen d'*Argania sideroxylon*, symétrie d'ordre 5.

3) Les zones germinales ou apertures.

Après avoir montré comment la disposition des zones germinales à la surface du pollen conditionne la symétrie et, souvent, la forme de ce dernier, nous rappellerons quelques-unes des dénominations utilisées dans la terminologie classique, pour qualifier un pollen en fonction de la forme et de la structure de ses apertures.

a) Définition du pollen en fonction de la forme de ses apertures.

Un pollen est poré, colpé ou colporé suivant qu'il porte un ou plusieurs pores, un ou plusieurs sillons, plusieurs sillons présentant un pore au milieu de chacun d'eux.

Un pollen est di-, tri-, stéphano-poré, colpé ou colporé, lorsque les pores ou les sillons sont équidistants et perpendiculaires à l'équateur du grain.

ex. : - pollens tri-porés, colpés ou colporés définis précédemment à propos de la symétrie d'ordre 3.

- pollen stéphano-poré (symétrie d'ordre supérieur à 3) : *Ulmus* Pl. XIX, figure 14).

Un pollen est périporé ou multiporé suivant qu'il porte, répartis à sa surface, un plus ou moins grand nombre de pores (cas déjà cité de *Plantago* et des Chénopodiacées).

Un pollen est hétérocolpé lorsqu'il porte, en alternance et perpendiculairement à l'équateur, des faux-sillons sans pores ne jouant aucun rôle germinatif et des sillons avec pores (cas déjà cité d'*Heliotropium*).

Un pollen est syncolpé lorsque les extrémités des sillons se rejoignent aux pôles (*Myrtus*, Pl. XX, figure 12).

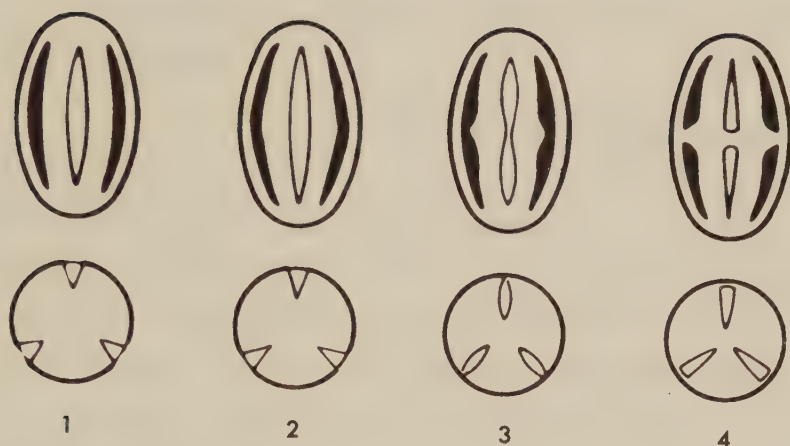
b) Structure des apertures.

Dans les différentes terminologies proposées par les auteurs, les adjectifs poré, colpé, colporé, le plus couramment utilisés dans les descriptions, correspondent aux substantifs "porus", "colpus", "colporus" qui n'apparaîtront que de façon occasionnelle dans le texte ou dans les légendes des planches photographiques. C'est cependant à partir de ces termes, qu'il convient de donner quelques précisions mettant en question la structure des apertures ainsi nommées. Rappelons auparavant la distinction faite au début de ce chapitre entre les deux couches constituant l'exine, enveloppe externe du grain de pollen : l'ectexine et l'endexine.

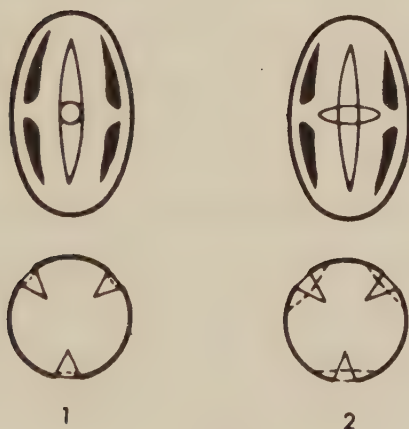
++ les "colpus", disposés suivant les lignes méridiennes, correspondent à une disparition totale ou partielle de l'ectexine. La membrane des "colpus" est donc formée d'endexine qui, chez les individus fossilisés s'invagine à l'intérieur des pollens leur donnant, en vue polaire, un aspect lobé et donnant en vue méridienne l'apparence de replis en forme de parenthèses. La figure 11 (A 1 à 3), montre l'aspect que présente un pollen à trois "colpus" (tricolpé) observé en vue méridienne et en vue polaire.

Certains "colpus" peuvent présenter une interruption au niveau de l'équateur du grain, donnant en vue de profil l'illusion de l'existence d'un pore au milieu du "colpus" tandis qu'à ce niveau l'endexine est en réalité bien présente : le pollen est dit alors "colporoïdé". Lorsque le sillon est réellement interrompu à l'équateur (figure 11, A4), le pollen est dit "polorocolpé".

++ les "colporus", également disposés suivant les lignes méridiennes, correspondent à une double modification de l'ectexine et de l'endexine : amincissement ou disparition de l'ectexine du colpus qui présente au niveau de l'équateur un pore ou un sillon transversal, traduisant un amincissement ou une disparition de l'endexine (figure 11, B 1-2) (Pl. XIII, figures 9, 10, sillon transversal de face et en coupe). Très couramment utilisés seront les termes ectoapertures et endoapertures :



A



B

Fig. II - Définition du pollen en fonction de la forme de ses apertures (d'après les schémas de M. VAN CAMPO, 1957)

- A. Pollens tricolpés : 1, 2, 3 : divers aspects des vues méridiennes et des vues polaires correspondant -
4 : cas particulier d'un pollen polarocolpé.
- B. Pollens tricolporés : vues méridiennes et vues polaires correspondant. 1 : colporus avec pore, 2 : colporus avec sillon transversal.

- Ectoaperture, désignant l'ouverture affectant l'ectexine.

- Endoaperture, précisant l'ouverture (pore ou sillon transversal) affectant l'endexine.

++ les "porus" sont des apertures équiaxes, affectant à la fois l'ectexine et l'endexine dont l'organisation, à leur niveau, conditionne la morphologie de ce type d'aperture qui est parfois complexe. Pour ne donner que quelques exemples : les pores des Plantaginacées et de Chénopodiacees portent des opercules, ceux des Graminées sont entourés d'un "annulus" (Pl. XVII, figure 8 : pore et "annulus" vus en coupe).

Il faut souligner toute l'importance que recouvre en morphologie pollinique la forme du système apertural, qui est un critère de détermination très significatif et que l'on doit aborder avec beaucoup de précision. Notons ici la signification des termes synonymes : "mesocolpium", "intercolpus" correspondant à la surface externe du pollen qui, en vue méridienne, sépare deux apertures (Pl. XVII, figure 6 par exemple).

4) L'exine.

Par rapport à la connaissance que l'on a maintenant acquise de la structure de l'exine grâce au microscope électronique, ce paragraphe n'apportera que des notions simplifiées à l'extrême. L'exine, au microscope optique, doit être observée dans le double but de déterminer l'aspect de sa surface (son ornementation) et celui qu'elle présente en coupe (sa structures).

La technique mise au point par G. ERDTMAN (1952), appelée "L-O analyse" (= "*lux-obscuritas*" analyse), consiste à observer finement l'exine dès le moment où sa surface apparaît dans le champ du microscope puis selon toute son épaisseur par approche successive, grâce à la vis micrométrique, de plans de plus en plus profonds, en déterminant au fur et à mesure que l'on atteint ces plans, le devenir des parties éclairées correspondant à des reliefs et des parties obscures correspondant à des vides. Ainsi par le jeu des variations des ombres et des fractions claires, il est possible

de reconstituer l'organisation des volumes et des creux et ainsi des différents éléments entrant à la fois dans l'ornementation et dans la structure de l'exine.

a) Ornementation ou sculpture de l'exine.

Hormis le cas où l'exine est lisse, les éléments déterminant son ornementation peuvent apparaître en relief ou en creux à la surface de celle-ci. Nous n'aurons pas l'occasion dans le texte qui suit d'entrer dans les détails recouvrant l'ensemble des termes qui servent à définir cette ornementation. Afin de mettre en évidence cependant la variété des types de sculpture qu'il est possible de rencontrer, nous rappellerons en les citant les données simples qu'apporte le texte auquel nous avons emprunté l'essentiel de ce chapitre (p. 675), à savoir que "l'exine peut être : scabre (aspect de peau de chamois), baculée (portant de petits bâtonnets), verrueuse (portant des verrues), gemmulée (verrues portées par un pédoncule très court), clavée (verrues portées par un long pédoncule, le tout ayant la forme d'une petite massue), échinulée, striée, réticulée, rugulée (portant des éléments sculpturaux plus ou moins allongés et répartis de façon désordonnée). Si, au lieu de verrues, l'exine porte de petites dépressions arrondies, elle est fovéolée, si, au lieu d'être rugulée elle forme de petites dépressions allongées irrégulières, elle est fossulée" (figure 12. A 1 à 6). A titre d'exemple notons l'exine scabre des Graminées (Pl. XIII, figure 15), l'exine lisse du pollen d'*Acacia* (Pl. XV, figures 16, 17), l'exine réticulée d'un très grand nombre de pollens présents dans nos analyses (*Olea*, Pl. XIX, figure 6 - Crucifères, Pl. XVII, figure 6), l'exine striée du pollen d'*Hyoscyamus albus* (Pl. XX, figures 6, 7), l'exine fovéolée du pollen de *Tilia* (Pl. XVI, figure 6), l'exine échinulée des pollens de Composées (Pl. XVII, figures 14 à 18, 18-19), celle enfin probablement rugulée d'un pollen resté indéterminé (Pl. XVII, figures 4, 5).

b) Structure de l'exine

Nous avons précédemment noté l'aspect le plus simple sous lequel apparaît l'exine au microscope optique, composée de deux membranes, l'une

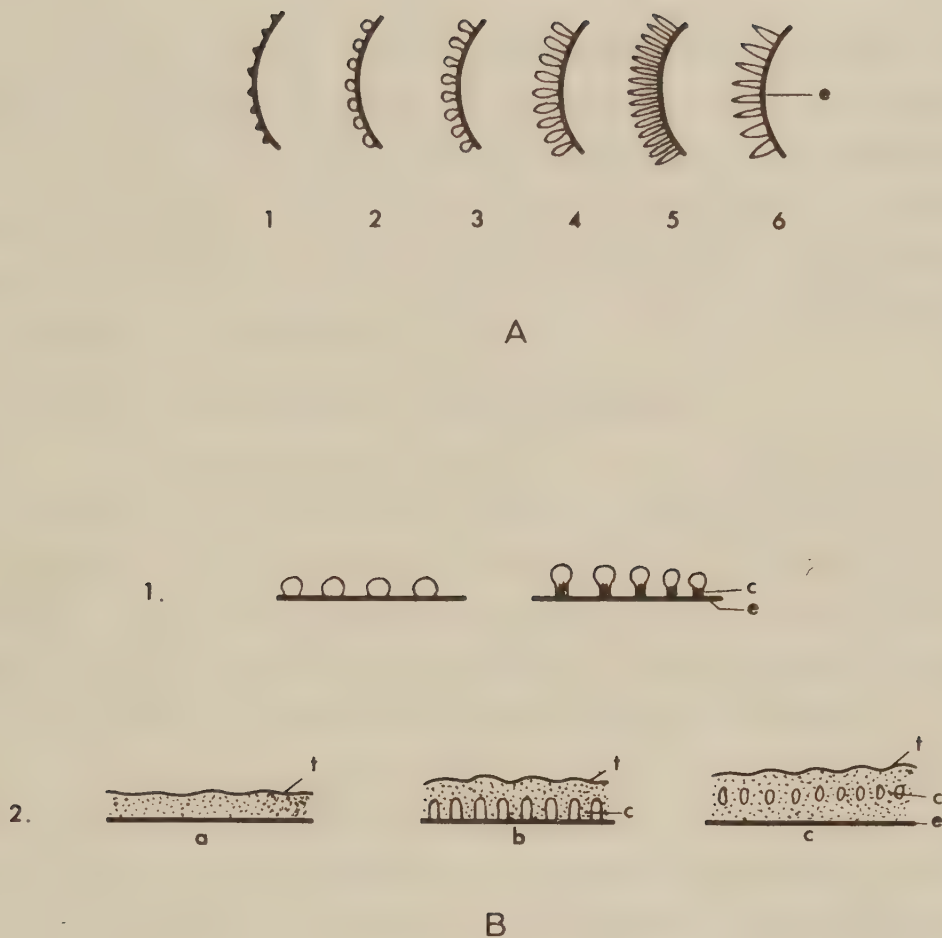


Fig. 12 - Ornementation et structure de l'exine

- A. Quelques types d'ornementation de l'exine observée en coupe optique (d'après les schémas de K. FAEGRI et J. IVERSEN, 1964)
(e : endexine) :
exine scabre (1), verruqueuse (2), gemmulée (3), clavée (4), baculée (5), échinulée (6).
- B. Structure de l'exine : ectexine discontinue, ectexine tectée (d'après les schémas de M. VAN CAMPO, 1957).
(e : endexine, t : tectum, c : columelles). 1 : ectexine discontinue - 2a, 2b, 2c : ectexine tectée (2a : ect. astructurée, 2b : ect. infrastructurée, 2c : ect. intrastructurée).

externe, l'ectexine, l'autre interne, l'endexine. Cette dernière s'est elle-même révélée non homogène, composée de plusieurs couches : il n'en sera pas question ici. C'est au niveau de l'ectexine qu'une structure devient perceptible et peut être très complexe. Nous resterons alors dans le cadre des données les plus simples sachant que nos déterminations, basées sur des observations le plus possible minutieuses, ne reposent cependant que sur les seuls moyens de la microscopie optique.

Nous définirons alors deux types d'ectexine :

++ une ectexine discontinue : elle est formée d'éléments juxtaposés, du type de ceux que nous avons définis précédemment à propos de l'ornementation de l'exine, reposant directement sur l'endexine. Il arrive que ces éléments se soudent entre eux à leur partie supérieure dessinant par exemple un réseau. Observée en surface une ectexine discontinue laisse percevoir directement l'endexine entre les éléments d'ectexine.

++ une ectexine continue ou tectée : le "tectum" forme alors une membrane continue à la surface de l'ectexine. Il résulte de la soudure de la partie supérieure de l'ensemble des éléments qui entrent dans la structure de cette dernière et repose sur une couche de columelles correspondant à la partie basale non soudée de ces éléments. Les columelles reposent sur l'endexine : l'ectexine est alors infrastructurée. Une couche d'ectexine homogène peut encore séparer la base des columelles de l'endexine : l'ectexine est dite intrastructurée. Enfin l'ectexine peut paraître entièrement homogène : elle est astructurée.

Ces différents aspects sont schématisés sur la figure 12 (B 1-2). Les coupes optiques méridiennes de pollens d'*Artemisia* (Pl. XVI, figures 4, 19) montrent l'importance que peut prendre le "tectum".

Tectum, columelles, endexine sont généralement observables au microscope optique. C'est aussi souvent la couche des columelles qui permet de faire la distinction entre l'endexine et l'ectexine.

Les termes essentiels de la nomenclature utilisée par les morphologistes venant d'être précisés, nous sommes alors en mesure d'aborder, sans être limitée par les moyens d'expression, un chapitre plus conséquent dans lequel seront posés un certain nombre de problèmes de détermination, liés précisément à des critères morphologiques et qu'il est essentiel de discuter, avant d'entrer dans la partie purement analytique de cette étude.

CHAPITRE IX

DETERMINATIONS POLLINIQUES PRELIMINAIRES A L'ETUDE DES SEDIMENTS

La raison même qui nous a précédemment amenée à présenter, de façon anticipée, un aperçu de la microflore pollinique rencontrée dans l'ensemble des analyses, nous conduit également à poser dès maintenant, quelques problèmes de déterminations qu'il paraît nécessaire d'envisager avant que soit abordée l'étude palynologique stratigraphique. En effet, avant même d'entrer dans le détail des analyses qui vont suivre, il n'est que de jeter un rapide coup d'oeil sur les tableaux réunissant les données de ces dernières, pour s'apercevoir qu'un certain nombre d'éléments y figurent selon une fréquence relativement régulière, du moins au niveau de l'ensemble des prélèvements effectués au sein d'une même coupe. Par ailleurs, quelques éléments se retrouvent de façon quasiment constante et selon une importance souvent notable en chaque analyse. Dans la mesure où la détermination des pollens de toutes ces essences fréquemment rencontrées, quelle que soit leur abondance, nécessite un certain nombre de commentaires, il convient de poser, sous forme de préliminaire à la partie analytique de notre étude, les problèmes éventuellement soulevés par ceux-ci. Deux choses semble-t-il sont essentielles :

- d'une part, voir précisées, sinon résolues, une fois pour toutes, des questions de déterminations concernant les taxons couramment rencontrés dans l'ensemble des analyses, ceci n'excluant cependant pas la possibilité d'apporter toute précision complémentaire nécessaire, en temps voulu, au fur et à mesure de ces analyses : il s'agit de poser au départ, des questions d'ordre général, certaines pouvant déjà à ce stade se trouver partiellement résolues, d'autres au contraire, une fois le problème évoqué, ouvrant la voie à d'éventuelles discussions qui interviendront au niveau de telle ou telle analyse plus précisément, laissant place aux cas particuliers qui ne seront pas négligés.

- d'autre part il importe que, dès à présent, notre esprit soit sensibilisé au fait que la détermination des pollens au niveau générique, mais plus encore au niveau spécifique, nous place dans certains cas devant l'impossibilité d'une option, impossibilité de choix dont dépend forcément l'interprétation que nous donnerons à la représentation de tel ou tel genre spécifiquement indéterminé ou de tel ou tel groupe taxonomique.

Ce sont ces deux préoccupations qui ont déterminé l'orientation de ce chapitre. Quant aux *taxa* uniques ou rarissimes, dont l'intérêt mérite d'être noté, ils seront envisagés dans le cadre du commentaire de l'analyse dans laquelle ils figurent : ce sera notamment le cas de la majorité des pollens d'essences d'origine tropicale.

Dans la ligne qui vient d'être définie, les pollens de quelques essences les mieux représentées retiendront plus particulièrement notre intérêt.

- parmi les éléments d'origine mésogéenne, la présence d'arbres méditerranéens nécessite d'être discutée, en fonction de certains critères morphologiques de leurs pollens : en particulier une partie des Conifères (*Pinus*, Cupressacées) et le genre *Quercus*. Quant aux éléments à caractère tempéré, nous n'envisagerons aucune discussion dans le cadre général de ce chapitre. Par contre, plusieurs familles ou genres représentés par leurs pollens et reconnus comme éléments à caractère désertique, sub-méditerranéen ou méditerranéen, appelleront quelques précisions quant à la détermination de ces derniers : nous pensons au genre *Ephedra*, aux Chénopodiacées, Composées parmi lesquelles le genre *Artemisia*, aux Graminées, aux Crucifères, aux Plantaginacées, aux Ombellifères et aux Cypéracées.

- parmi les éléments d'origine tropicale, seul le genre *Acacia* en raison de sa fréquence relative, suscitera quelques remarques.

L'ordre adopté pour cette étude n'est pas lié à la systématique, il est parallèle à la classification des catégories définies dans le chapitre VII.

I - LES POLLENS DU GENRE *PINUS*.

Rappelons que nous avons fait allusion au pollen de ce genre dans le chapitre consacré à la morphologie pollinique et que nous l'avons donné comme un exemple illustrant un type de pollen dit "hétéropolaire", défini à partir d'un critère de symétrie (cf. chapitre VIII, figure 40, B). Quelques termes propres à la morphologie du pollen du genre *Pinus* doivent être précisés ici, afin que soient compréhensibles les détails qui, dans le texte, interviendront à son propos.

Pollen dit "bi-ailé", le pollen du genre *Pinus* présente, comme d'ailleurs celui d'autres genres parmi les Abiétacées, un "corps" principal portant deux diverticules globuleux nommés "ballonnets". Ces derniers représentent des expansions de l'ectexine, décollée en deux points privilégiés de la surface du corps du grain. Ils jouent le rôle, chez les pollens non fossilisés, de sacs aérifères déterminant le caractère anémophile très prononcé de ce type pollinique. La partie de la surface du corps du grain recouverte par les ballonnets est limitée par l'endexine. La surface du corps du grain, située au pôle distal et limitée par les lignes d'insertion des ballonnets, correspond à la zone germinale du pollen : elle est recouverte par une mince couche d'ectexine.

La partie du corps du grain non recouverte par les ballonnets, s'étendant à partir du pôle proximal jusqu'à la limite de la zone germinale, est appelée "calotte" : celle-ci est formée d'une double couche d'ectexine et d'endexine, l'ectexine pouvant y être plus ou moins épaisse, régulière dans son épaisseur ou au contraire, irrégulière et apparaissant boursoufflée.

Sur une coupe optique du pollen vu de profil, on distingue au point d'insertion des ballonnets sur le corps du grain, une "racine distale" et une "racine proximale" des ballonnets. Au niveau de la racine proximale, l'ectexine peut s'amincir et passer insensiblement de la calotte aux bal-

lonnets. Elle peut également marquer un épaissement ou une boursouflure accentée, formant ainsi une "crête marginale".

Au cours des analyses polliniques nous serons amenée à noter un certain nombre de caractères descriptifs qui reposent sur les critères que voici :

1) La forme générale du corps du grain.

Elle est définie d'après la forme de la coupe optique de celui-ci, observée soit en vue distale (ou proximale), soit en vue de profil. La conjugaison de ces deux observations, dans la mesure où le pollen n'a pas été déformé au cours de la fossilisation, permet de déterminer si le corps du grain est sphérique, sub-sphérique ou s'il a la forme d'un ellipsoïde. En général, on peut tout juste préciser la forme de la coupe optique selon l'une ou l'autre vue, distale (ou proximale) ou de profil. Cette question de la forme générale du corps du grain a été étudiée et précisée par M. VAN CAMPO (1950). Sur la coupe optique de la vue de profil est déterminé le diamètre du corps du grain : c'est la longueur du "plus grand axe de l'ellipsoïde limité par l'endexine" (cf. chapitre VIII, figure 10, B).

2) Le rapport du volume du ballonnet à celui du corps du grain.

Il est signalé de temps à autre lorsque les pollens sont observés de profil.

3) Le type d'attache des ballonnets au corps du grain.

Il n'est mentionné ici que parce que nous avons été amenée à choisir les termes type "haploxylon", type "diploxylon", souvent utilisés en analyse pollinique pour séparer, dans les sédiments d'âge tertiaire, deux types de pollens dont le premier disparaît lors du passage Tertiaire-Quaternaire. Nous les avons employés seulement à l'occasion des déterminations relatives aux formations néogènes, dans le souci de bien marquer que le type "diploxylon" est en fait pratiquement le seul représenté, à quelque rarissime exception près. En adoptant ces termes à la suite d'autres palynologues, nous avons cependant conscience qu'ils sont impropres à traduire des types morphologiques, comme l'a souligné A. PONS (1964, p. 523, note infrapaginale),

puisque'ils correspondent en réalité à une distinction d'ordre botanique séparant deux groupes parmi les *Pinus*, deux sous-genres (cf. *Pinus*, in G. ERDTMAN, 1957-1965), distinction fondée sur la morphologie de l'appareil vasculaire comme les termes le laissent d'ailleurs prévoir (M. VAN CAMPO, notes relevées dans un cours, 1964). Il eut fallu peut-être leur préférer la terminologie de K. RUDOLF (1935), reconnaissant les pollens de type "haploxylon" (ballonnet attaché au grain par sa plus grande section, forme générale du grain elliptique en vue polaire) et ceux de type "silvestris" (surface d'attache du ballonnet inférieure à sa plus grande section, ballonnet non emboîtant très nettement détaché de la surface du grain, trois cercles se recoupant en vue polaire). Cependant l'expression type "silvestris" utilisée dans le cadre de cette étude nous paraît mal choisie puisqu'elle désigne précisément une "espèce" ayant servi de base à la dénomination de ce type. D'autres problèmes d'espèces interviendront dans cette étude des pollens de *Pinus*, qui nécessitent que l'on ne complique pas la compréhension des termes employés en introduisant un langage ici ambigu.

4) La présence ou l'absence des crêtes marginales précédemment définies.

5) L'épaisseur de la calotte, sur une coupe optique du grain vu de profil et la régularité de son bord ou la présence de boursoufflures.

6) La structure de l'exine de la calotte.

Elle peut en surface montrer une ornementation d'apparence confuse, ou bien un réseau à mailles très fines fermées, ou encore un réseau à mailles ouvertes donnant à l'exine un aspect vermiculé.

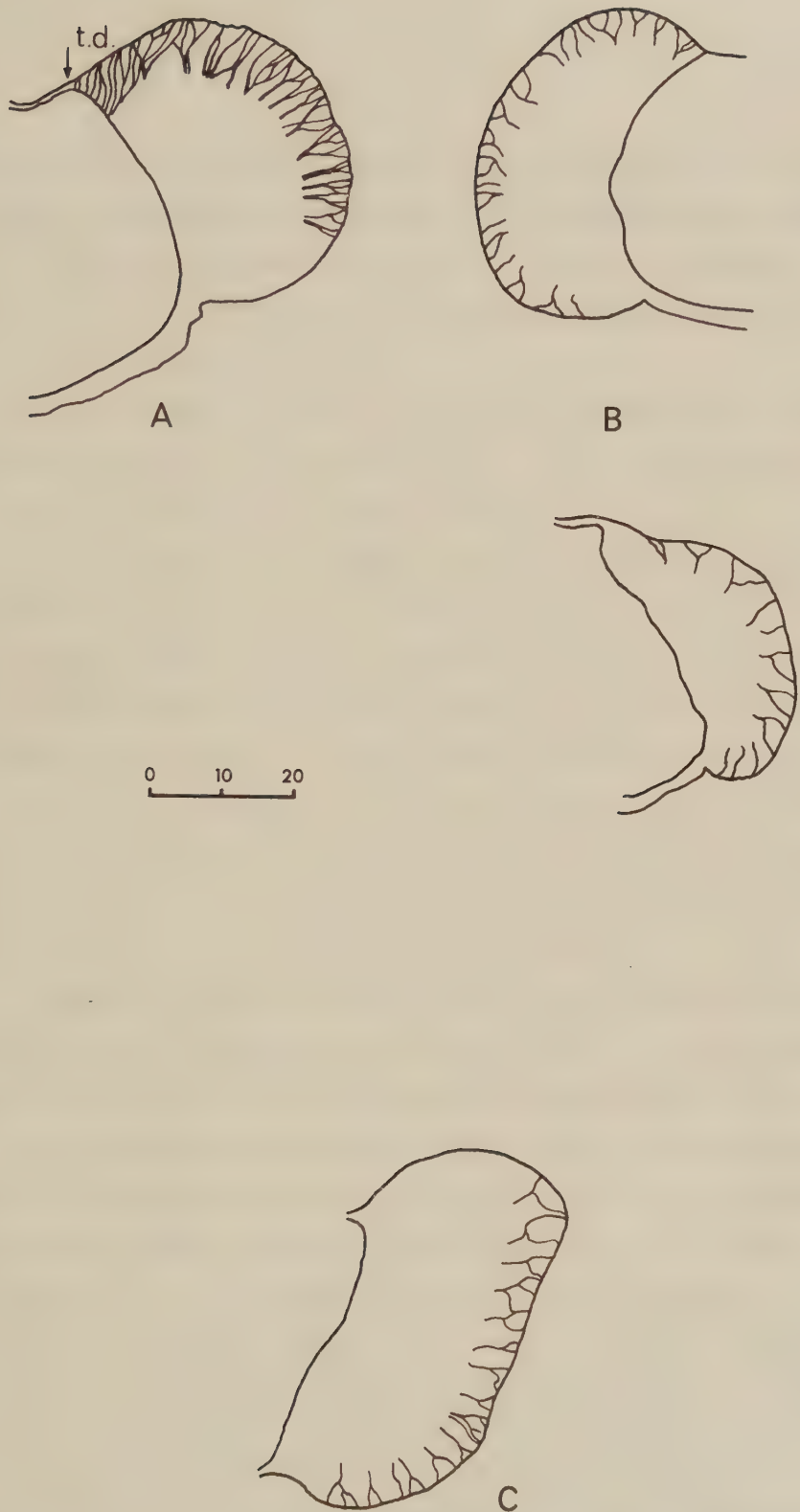
7) La structure de l'exine des ballonnets.

Nous abordons ici l'un des critères de détermination qui, pour une grande partie de l'étude des pollens de *Pinus* a été capitale. Pendant longtemps, nous nous sommes essentiellement attachée à étudier la structure de l'exine des ballonnets observés en surface, en tenant compte des différents types définis par M. VAN CAMPO (1950), ultérieurement adoptés par A. PONS (1964). Trois types de structures étaient alors distinguées : exine composée

d'éléments disposés de façon inorganisée et anarchique (type 1), formant un réseau irrégulier (type 2), ou encore "s'anastomosant parfaitement entre eux" dessinant un réseau régulier (type 3). Nous avons souvent dans le texte qui suit évoqué, au sujet des ballonnets, un réseau à mailles ouvertes ou fermées, rapporté à tel ou tel des types précédents. Très récemment, alors que nous faisons part à Mme VAN CAMPO d'un certain nombre de problèmes posés par les déterminations des pollens fossiles sahariens, des Conifères notamment, il apparut, après examen des catalogues de pollens d'Abiétacées, dressés par J. SIVAK (travaux en cours), que nous devions nous attacher à ré-envisager l'observation du plus grand nombre possible des pollens de *Pinus*, afin de porter notre attention sur la structure de l'exine des ballonnets observée, non plus seulement en surface, mais en coupe optique également.

En coupe optique en effet, l'exine des ballonnets des pollens de *Pinus* qui est formée, nous l'avons vu, de la seule ectexine, apparaît comme une couche de structure alvéolaire. Cette structure, qui avait été remarquée sur les pollens d'*Abies* par M. VAN CAMPO (1950, p. 106), a été plus récemment décrite à propos des pollens de *Pinus canariensis* (M. VAN CAMPO, F. BRONCKERS, Ph. GUINET, 1965, Pl. 121).

a) Préalablement à une nouvelle observation des pollens fossiles, nous avons étudié plus en détail l'aspect que présente, en coupe optique, la couche alvéolaire des ballonnets de pollens d'espèces actuelles et plus particulièrement des espèces présentes en Afrique du Nord, *Pinus halepensis* Mill. et *Pinus nigra* ssp. *laricio* var. *mauretanica* Maire et Peyer notamment. Nous avons laissé de côté *Pinus pinaster* dont le pollen par sa grande taille ne peut être confondu avec celui des espèces précédentes. Comparaison faite de la structure de la couche alvéolaire des ballonnets en coupe optique chez les deux espèces, l'évidence est frappante : il n'y a aucune possibilité de confusion entre deux pollens appartenant à l'une et l'autre espèce. Nous avons tenté de faire apparaître cette évidence sur les schémas A et B de la figure 13. Cette schématisation est à peu près fidèle, avec une légère



g. 13 Schématisation au niveau de la coupe optique, de la couche alvéolaire de ballonnets chez les pollens de trois espèces du genre *Pinus*, étudiées dans le texte .
 A : *Pinus halepensis* (r.d. = racine distale) - B : *Pinus nigra var mauretanica*
 C : *Pinus silvestris*.

réserve toutefois, car l'intrication un peu confuse des éléments d'ectexine formant les cloisons des alvéoles et la superposition des plans rend difficile de distinguer les éléments qui se trouvent strictement dans le plan observé. Nous avons essayé de faire figurer les différences qui sont apparues les plus caractéristiques :

- la profondeur de la couche alvéolaire peut être évaluée à 8-9 μ au maximum, chez *Pinus halepensis* alors qu'elle atteint en moyenne 5 μ chez *Pinus nigra* ssp. *laricio* var. *mauretanica*.

- l'orientation très régulièrement parallèle, chez *Pinus halepensis*, des éléments d'ectexine, qui ne sont en réalité que les cloisons des alvéoles, prenant en coupe optique, l'aspect de trabécules ramifiées vers le tectum, selon un angle très faible, tandis que chez *Pinus nigra* ssp. *laricio* var. *mauretanica*, les ramifications paraissent très ouvertes, ceci étant d'autant plus apparent que la couche alvéolaire est moins profonde. Nous avons remarqué que la densité de la structure alvéolaire est variable d'un pollen à l'autre dans un même montage de pollens de *Pinus halepensis*, alors qu'elle est faible en général chez *Pinus nigra*.

- enfin il apparaît de façon très remarquable chez *Pinus halepensis*, une convergence des cloisons des alvéoles vers le corps du grain, à la racine distale du ballonnet, ce qui n'existe pas chez *Pinus nigra*.

En L-O analyse (cf. chapitre VIII) cette différence de structure de la couche alvéolaire des ballonnets, de l'une à l'autre espèce, apparaît également. Chez *Pinus halepensis* sont observées, en surface, de petites mailles, puis ces mailles s'agrandissent progressivement, au fur et à mesure que le plan d'observation traverse de plus en plus profondément la couche alvéolaire, jusqu'à ce qu'apparaissent les plus grandes mailles de sa partie interne. Chez *Pinus nigra*, les mailles en surface sont petites, mais peut-être moins nettement dessinées que chez *Pinus halepensis*. La couche alvéolaire étant moins dense et moins profonde, le champ d'observation atteint très rapidement de grandes mailles, sans que l'on ait pu observer de passage progressif des petites mailles de surface à ces dernières.

Nous saisissons combien il est appréciable d'avoir trouvé la possibilité d'établir, sur ce dernier critère, une distinction entre les pollens que la majeure partie de leurs caractères morphologiques rendent extrêmement proches. Il suffit pour s'en rendre compte, de se reporter aux remarques de A. PONS (1964) à propos des pollens de ces mêmes espèces. Cet auteur, décrivant des pollens fossiles de *Pinus halepensis*, évoque "des grains identiques, mais nettement séparés par la profondeur des ballonnets" et qui "se rapprochent de ceux de *P. laricio* Poiret." (*loc. cit.*, p. 564). Un peu plus loin il note : "des grains très semblables à ceux de *P. halepensis*, mais avec des ballonnets plus profonds (24 à 28 μ) et des bourrelets sur la calotte peut-être plus constants, semblent pouvoir être rapportés à *P. laricio* Poiret." (*loc. cit.*, p. 566). En ces quelques lignes, on pressent combien restent proches par de nombreux caractères morphologiques les pollens de ces deux espèces.

Nous ajouterons ici quelques remarques qu'il a paru intéressant de noter. Nous avons élargi cette observation de coupes optiques de ballonnets de pollens actuels, à des sous-espèces ou espèces n'existant pas en Afrique du Nord dans le présent. Il a été vérifié que chez plusieurs sous-espèces de *Pinus nigra* (ssp. *clusiana*, ssp. *pallasiana*, ssp. *nigricans*), la coupe optique du ballonnet reste comparable à celle que nous venons de décrire chez la ssp. *laricio* var. *mauretanica*, avec seulement quelques variations dans l'organisation ou la densité des éléments d'endexine, montrant toujours cependant ce type très ouvert des ramifications. Nous avons également étudié une coupe optique du ballonnet chez *Pinus silvestris* (schématisée sur la figure 13, C). Chez cette dernière espèce on remarque une structure qui, sans être tout à fait intermédiaire entre celle de *P. halepensis* et celle de *P. laricio*, présenterait à première vue des caractères de l'une et l'autre espèces. Toutefois, ici encore, il ne semble pas y avoir de confusion possible ni avec l'une ni avec l'autre :

- la couche alvéolaire est épaisse de 6 μ environ.
- les éléments d'endexine montrent un certain parallélisme à la partie la plus interne de la couche alvéolaire, mais les ramifications se

font suivant un angle très largement ouvert comme chez *Pinus laricio*
La couche alvéolaire semble plus dense que chez les pollens de cette dernière espèce.

- en L-O analyse, les mailles du réseau apparaissent en surface très irrégulières, certaines étant ouvertes et, comme chez *Pinus laricio* il n'y a pas de passage progressif entre les mailles de surface et les grandes mailles internes.

Nous nous sommes arrêtée sur cette dernière espèce plus particulièrement, ayant le souci de ne pas exclure *a priori*, l'éventualité de sa présence au Néogène ou au Quaternaire, dans les montagnes d'Afrique du Nord au moins, éventualité qu'il est bien permis d'envisager quand on présume déjà des autres espèces à caractère tempéré qui ont dû participer, à cette époque, à leur peuplement végétal.

b) Nous venons d'apporter quelque lumière sur un point précis très important, relatif à la différence de structure de l'exine des ballonnets de pollens ayant, par ailleurs, bien des caractères communs mais appartenant à des espèces distinctes. Quelles sont maintenant les réflexions que suggère l'étude d'ensemble des pollens de *Pinus* fossilisés, rencontrés au cours des analyses ?

a) c'est tout d'abord une grande difficulté au niveau simplement de l'observation des caractères généraux que nous avons précédemment notés comme des critères de détermination. Les pollens de *Pinus* sont en effet très facilement déformés, les ballonnets étant repliés sur le corps du grain. Fréquemment, corps et ballonnets sont séparés et rencontrés isolément. Il est souvent impossible enfin, d'observer une bonne vue distale (ou proximale), ou de profil : de ce fait déjà, les mensurations deviennent délicates. C'est pourquoi, dans le texte, lorsque nous n'avons réussi à nous prononcer en faveur d'une détermination un peu précise, nous avons parfois pris le parti de noter les quelques caractères observables.

β) toutefois, l'effort entrepris quant à l'étude de la structure des ballonnets, selon la ligne définie précédemment, a permis d'établir une distinction entre plusieurs catégories de pollens :

++ certains d'entre eux ont pu être rapprochés des pollens de *Pinus halepensis*. Ceux-ci présentent une coupe optique des ballonnets identique dans sa structure à celle qui a été observée sur les pollens actuels. Chez les pollens fossiles toutefois, la profondeur de la couche alvéolaire ne dépasse pas 6 μ alors qu'elle atteint 8-9 μ chez les pollens actuels. Ceci très probablement est en accord avec le fait que les pollens fossilisés sont, de toutes façons, de taille inférieure aux pollens actuels de 10 à 15% très souvent. Il est reconnu que cette différence est liée tant aux méthodes d'extraction des pollens à partir des sédiments (diminution de taille des pollens fossiles due à l'action de l'acide fluorhydrique notamment) qu'au mode de conservation des éléments de référence (gonflement des pollens après montage en gélatine glycélinée). Pourquoi serait-il exclu, peut-être, que le processus de fossilisation des pollens ait été influencé par l'aridité des périodes les plus rudes qui ont alterné, au Quaternaire, avec les phases pluviales ? Toutefois, nous pensons aussi que, si cette différence observée dans les mensurations, entre certains pollens fossiles et ceux des mêmes espèces, actuelles, auxquels ils sont comparés, peut être attribuée à des causes d'ordre technique ou à des conditions particulières de fossilisation, cela ne doit pas nous faire perdre de vue que nous ne pouvons admettre *a priori*, que des critères tels que la taille des pollens aient été absolument fixes, depuis la mise en place des espèces dans le passé, jusqu'à l'époque actuelle. Il arrive que des variations de cet ordre soient observables entre des pollens actuels dans une même lame de référence. Nous savons d'autre part que si l'on compare des pollens de *Pinus halepensis*, originaires de France et des pollens de cette espèce, originaires d'Afrique du Nord, ces derniers présentent des dimensions inférieures à celles des précédents (A. PONS, communication orale, 1963). C'est pourquoi, semble-t-il, nous ne pouvons rejeter la possibilité qu'un pollen fossile de 40 μ , par ailleurs comparable en tout, au pollen de référence de *Pinus halepensis*

mesurant en moyenne 50 μ , puisse être rapproché de cette dernière espèce. Ces questions relatives à la taille des pollens de *Pinus* s'étant posées de temps en temps, cette mise au point a paru nécessaire. Il n'en reste pas moins que dans les tableaux d'analyses, par souci de prudence nous n'indiquerons jamais cette catégorie de pollens que sous la dénomination *Pinus cf. halepensis*, de façon que, précisément, soit respectée l'idée que nous évoquons d'une possible variation de certains caractères spécifiques, ne franchissant pas les limites d'une sous-espèce ou d'une variété. Quelques photographies de pollens fossiles, déterminés comme appartenant à cette espèce, sont présentées sur les planches XIV (figures 1 à 4) et XIX (figures 18 à 20).

++ un second groupe de pollens fossiles, au vu de la coupe optique des ballonnets, a été rapproché de l'actuel pollen de *Pinus nigra* ssp. *laricio* var. *mauretanica*. Chez ces pollens de sédiments sahariens, la profondeur de la couche alvéolaire est de 3,5 - 4 μ , ou bien légèrement inférieure. Elle s'éloigne assez peu alors de la valeur qu'elle atteint chez l'espèce actuelle (5 μ en moyenne). Deux remarques doivent être notées à propos de ce groupe :

- la première est d'ordre morphologique : l'organisation de la couche alvéolaire, la densité des trabécules et la fréquence des ramifications sont plus variables suivant les pollens fossiles étudiés qu'elles ne l'étaient chez *Pinus halepensis*. Il semble y avoir au niveau de ce groupe beaucoup plus de diversité dans les coupes observées, qui correspondent de toute évidence, cependant, au même type que l'espèce actuelle prise pour référence.

- la seconde remarque concerne justement la dénomination de l'espèce actuelle qui sert de type morphologique auquel se rapportent les pollens fossiles dont il est question.

Celle-ci a donné lieu semble-t-il à de nombreuses synonymies, ce qui nécessite quelque simplification et précision. Sans entrer dans le détail d'une nomenclature un peu complexe, nous dirons seulement qu'il apparaît dans la flore de R. MAIRE (1952, Vol. I, p. 146), entre autres synonymies, une équivalence entre *Pinus nigra* Arn. et *Pinus laricio* Poir., le terme "*laricio*" étant ici élevé au rang d'espèce. Il semble également que pour H. GAUSSEN (1954, 1960) il existe un groupe des *Pinus laricio*, groupe circumméditerranéen, recouvrant actuellement plusieurs races géographiques parmi lesquelles, la "sous-espèce" ou la "variété" "*mauretanica*" est propre à l'Afrique du Nord. Afin de nous conformer à la nomenclature la plus couramment utilisée, nous désignerons donc par le terme "*laricio*", le type pollinique auquel nous avons comparé les pollens fossiles. Aussi bien, compte tenu, comme nous l'avons signalé plus haut, de la diversité de structure des coupes observées ainsi que de l'extension du sens que l'on doit accorder au terme "*laricio*", désignant, pour la plupart des auteurs, un groupe ayant valeur d'espèce, qui rassemble plusieurs races déterminées par leur situation géographique, nous qualifierons les pollens fossiles de *Pinus* que nous lui comparons, du terme "type *laricio*" plutôt que de l'expression "*cf. laricio*" comme nous l'avons fait pour *Pinus cf. halepensis*. Ceci n'est qu'une question de forme qui n'exclut pas que la variété actuelle ait pu exister dans le passé, ou une variété voisine. Cette expression traduit toute la variabilité possible qui apparaît, tant sur le plan morphologique qu'à travers le sens même du terme "*laricio*", derrière lequel la notion d'espèce a une signification et une extension plus larges que chez *P. halepensis*. Une coupe très caractéristique d'un ballonnet de pollen fossile du type "*laricio*" est présentée sur la Pl. XII, figure 1.

++ dans une dernière catégorie tout à fait hétérogène, nous devons rassembler tous les pollens que nous n'avons pu rattacher à l'un des deux groupes précédents.

- parmi ceux-ci, nous avons pu faire la part avec quasi-certitude, d'une certaine quantité d'individus issus de remaniements : ils doivent tout juste être signalés dans les analyses.

- certains pollens sont rassemblés dans cette catégorie, car ils présentent une coupe optique des ballonnets bien visible, mais qui n'a rien de comparable à celle des pollens des groupes précédents. Ceux-ci seront signalés au cours des analyses : ils posent le problème de la représentation du genre *Pinus* par des espèces qui restent indéterminées, sûrement absentes d'Afrique du Nord actuellement, voire même, selon l'avis de Mme VAN CAMPO, du bassin méditerranéen au sens large (communication orale, 1969).

- d'autres pollens enfin, ont été placés dans cette catégorie en raison de leur mauvais état de conservation, nous limitant dans la possibilité de déterminer des structures, au niveau des ballonnets notamment. Cependant nous voudrions ici apporter l'éclairage d'une observation très importante et significative que nous avons pu faire relativement récemment, alors que nous nous attachions encore tant bien que mal, à rechercher s'il n'était pas possible de tirer quelque enseignement de ces trop nombreux pollens restés indéterminés. L'analyse d'un échantillon prélevé dans un niveau d'âge ougartien, avait livré une dizaine de pollens de *Pinus* dont l'état de fossilisation était tel qu'il était impossible de distinguer une structure au niveau de l'exine du ballonnet : celle-ci, en L-O analyse, apparaissait comme une couche composée d'éléments inorganisés, laissant seulement présumer, en quelques points de sa surface, de l'existence d'un ancien réseau détérioré et transformé en une couche à aspect plus ou moins grumeleux. En coupe optique, la même confusion était remarquable, cette coupe ne laissant voir, en place d'exine alvéolaire, qu'une zone devenue astructurée et très irrégulière dans son épaisseur. Nous avons eu cependant la grande chance, en ré-examinant ces pollens que nous avions par ailleurs toutes raisons de rattacher, par quelques autres caractères, à une même espèce, d'observer sur l'un d'entre eux, un ballonnet dont la structure avait été, heureusement, à peu près conservée. Il devenait alors tout à fait évident que la coupe optique observable était celle d'un pollen de *Pinus cf. halepensis* et que nous pouvions du même coup déterminer l'ensemble des pollens de ce niveau comme appartenant à cette espèce. L'intérêt de cette observation,

au-delà du fait appréciable qu'elle a permis de préciser une détermination spécifique, est aussi d'avoir révélé l'importance des altérations possibles, au cours de la fossilisation, de certaines structures, en l'occurrence celle de la couche alvéolaire des ballonnets. Il était impensable en effet, que l'aspect de cette dernière, sur le second ballonnet comme sur l'ensemble des autres pollens de *Pinus* contenus dans l'échantillon analysé, permette de la définir comme caractérisant l'espèce "*halepensis*". En fait dans ce cas précis, la transformation opérée au cours de la fossilisation, apparaît comme une véritable rétraction des éléments constituant l'ectexine, réduisant celle-ci à l'état de couche astructurée, totalement désorganisée et d'épaisseur indéfinissable par son irrégularité. Cette intéressante constatation rend cependant perplexe quant à l'impossibilité dans laquelle nous sommes restée, de préciser la détermination de certains pollens de *Pinus* dont l'exine, au niveau des ballonnets, paraissait précisément assez inorganisée, laissant supposer qu'il pouvait être question d'espèces maintenant disparues. Certes, ces dernières remarques ne nous autorisent pas à nous prononcer davantage sur la détermination spécifique de ces pollens. Toutefois, nous devons garder présent à l'esprit qu'il n'est pas exclu qu'ils appartiennent finalement à des espèces actuelles, certaines structures s'étant seulement trouvées modifiées au cours de la fossilisation, de façon peut-être moins caractéristique que dans le cas qui vient d'être précisé. Quoi qu'il en soit, ce dernier apporte semble-t-il, un éclairage intéressant quant à l'incidence sur certains caractères morphologiques, des conditions de fossilisation. Il donne également bien des raisons de résoudre avec réserve et prudence certaines questions délicates de détermination. Notons enfin l'importance, dans la nature actuelle et chez certaines espèces notamment, des phénomènes d'hybridation : ceux-ci sont fréquents chez les Abiétacées et les conséquences qui peuvent en résulter au niveau de la morphologie pollinique ne doivent pas nous échapper.

II - LES POLLENS DE LA FAMILLE DES CUPRESSACEES

Un petit nombre seulement de pollens de cette famille ont été identifiés dans les analyses. Nous en avons tenté la détermination en nous appuyant sur la publication de M. VAN CAMPO (1953) et sur l'observation de quelques pollens actuels de référence, mais dès maintenant notons que la reconnaissance des différents genres, d'après leurs grains de pollen, est particulièrement délicate. Il s'agit de pollens sphériques (20 à 38 μ selon les genres ou espèces) dont l'exine, épaisse de 1 à 2 μ , est constituée d'une membrane homogène, portant des granulations à sa surface externe et dont la zone germinale, non fonctionnelle (le pollen éclate au moment de sa germination) est un pseudopore, simple amincissement d'exine, le plus souvent invisible. Les espèces qui, dans cette famille, peuvent retenir notre intérêt appartiennent aux genres *Juniperus*, *Cupressus*, *Callitris*. Les critères de détermination sont très simples, ce sont, la taille du pollen d'une part, la grosseur, la densité des granulations et la régularité de leur répartition à la surface du pollen, d'autre part. Cette apparente simplicité cache de réelles difficultés de détermination. Du point de vue de la taille en effet, on retrouve entre les mêmes valeurs limites, des espèces appartenant aux trois genres en question. Quant aux granulations il est bien délicat d'en évaluer la grosseur, la densité ou le mode de dispersion à la surface du pollen quand on se trouve en présence d'un élément fossile, sans qu'intervienne un facteur d'appréciation personnel. Dans l'étude qu'elle a faite des pollens de cette famille, M. VAN CAMPO (*loc. cit.*) a dressé des tableaux rendant compte, de façon simple, des caractères propres à chaque espèce étudiée. Il n'en reste pas moins que la détermination du pollen fossile paraît très subjective. Nous laisserons de côté ici quelques-uns des pollens rencontrés de façon occasionnelle dans certaines analyses et sur lesquels nous reviendrons au cours de ces dernières.

Nous voulons seulement dans ce paragraphe situer l'un d'entre eux, plus fréquemment rencontré et préciser définitivement la détermination que nous en avons faite : ce pollen fossile mesure 21 à 23 μ selon les cas :

par sa taille, en fonction des données de M. VAN CAMPO (*loc. cit.*, p. 12), il se trouve parmi les plus petits pollens des Cupressacées et cela exclut qu'il appartienne au genre *Cupressus* (27-38 μ). Il ne peut non plus représenter *Callitris articulata* (= *Tetraclinis articulata*) actuellement présent à l'état endémique, dans la flore sèche d'Afrique du Nord et dont le pollen mesure environ 28 μ . Nous avons déterminé le pollen fossile comme appartenant au genre *Juniperus*. Par ailleurs, il porte des granulations que nous reconnaissons comme assez grosses, nombreuses et réparties, soit régulièrement, soit irrégulièrement par plages, à la surface du grain (Pl. XX, figure 11). Nous pensons, en fonction de ces caractères et comparativement à ceux donnés par M. VAN CAMPO pour les espèces du genre qu'elle a décrites, que le pollen représente *Juniperus oxycedrus*. La taille du pollen de cette dernière espèce donnée pour référence est de 24 μ : la différence de taille de 2 à 3 μ entre ce dernier et les pollens fossiles répond aux variations normales que nous évoquions à propos du genre *Pinus*. *Juniperus oxycedrus* est l'un des genévriers présents en grande abondance, dans la flore à caractère xérophile des pentes de moyenne altitude des montagnes d'Afrique du Nord.

III - LES POLLENS DU GENRE QUERCUS.

La détermination des pollens de ce genre a donné lieu à la distinction, lisible sur les tableaux d'analyses, entre un groupe de pollens dits de "type *ilex*" et le groupe des "autres *Quercus*". Du point de vue morphologique, une distinction est effectivement possible entre ces deux groupes. De la seconde catégorie de pollens nous n'avons pas pensé nécessaire de faire une étude approfondie : elle rassemble, en effet, des individus aux caractères morphologiques variables, correspondant probablement à plusieurs espèces indéterminées. Lorsqu'une remarque ou une précision a paru possible au sujet de l'un d'eux nous l'avons signalée, sans toutefois consacrer plus de temps à ce groupe de pollens appartenant à un genre, dont une tentative d'étude des espèces actuelles a révélé trop de variations polliniques possibles :

ici, comme dans le cas des pollens de *Pinus*, il faut probablement envisager que les phénomènes d'hybridation sont en partie responsables de ces variations; il n'est qu'à se reporter à la publication de E.H. del VILLAR ("Les *Quercus* de l'herbier d'Alger", 1938), pour se rendre compte de l'importance que prend dans la nature actuelle ce dernier phénomène.

Ce sont plus particulièrement les pollens réunis dans le même "type *ilex*" qui ont retenu notre intérêt. Ce type regroupe, pour des raisons de variabilité des caractères polliniques, des pollens plus ou moins proches de ceux de *Quercus ilex* ou de *Quercus coccifera*, proches du moins des échantillons actuels qui ont servi de référence. Les pollens de ces deux espèces possèdent des caractères morphologiques comparables, à quelques exceptions près et se séparent de façon assez nette de l'ensemble des pollens des autres espèces. Deux études morphologiques qui ont été faites des pollens de *Quercus* par M. VAN CAMPO et H. ELHAI (1956) et par N. PLANCHAIS (1962) ont servi de base à l'observation des fossiles. Il s'agit de pollens tricolpés dont l'axe polaire P varie de 20 à 25 μ et le diamètre équatorial E de 17 à 25 μ . Le rapport P/E est plus ou moins légèrement supérieur à 1, marquant parfois un caractère longiaxe plus accentué que ne semblent l'indiquer les données, relatives aux pollens actuels, des auteurs sus-cités. Les sillons à lèvres continues, présentent une constriction médiane affectant, en vue méridienne, l'aspect d'une accolade. L'exine est scabre et, d'après les descriptions faites de pollens actuels, elle est plus épaisse chez *Q. coccifera* que chez *Q. ilex* (1,8 μ), les granulations étant plus fines chez *Q. coccifera* que chez *Q. ilex* où elles sont irrégulières, rapprochées et sans relief : il n'est pas toujours possible d'apprécier ces différences en présence d'un pollen fossile, d'autant que nous ne les avons pas toujours constatées sur les pollens actuels eux-mêmes, ceci en raison sans doute des variations fréquentes précédemment évoquées. Le caractère auquel nous avons attaché le plus d'importance est la mesure de "t", côté du triangle polaire, dépassant rarement 5 μ (limite supérieure : 7 μ donnée par les auteurs pour les espèces actuelles envisagées). Quant à la forme de la vue polaire, elle est apparue triangulaire, sub-triangulaire à lobée

suivant les pollens, bien que, d'après les auteurs précédents, la forme sub-triangulaire caractéristique des vues polaires des pollens des espèces actuelles ne se retrouve pas chez les pollens fossiles, dont les vues polaires deviendraient sub-circulaires secondairement à la fossilisation. Notons à titre de remarque seulement, la frappante ressemblance entre quelques rares pollens parmi les fossiles et l'actuel pollen de *Quercus auzendi*, forme hybride entre *Q. ilex* et *Q. coccifera*, présente en Afrique du Nord. Chez *Quercus auzendi*, du moins sur les pollens de référence que nous avons pu observer, la forme triangulaire de la vue polaire est particulièrement accentuée.

IV - LES POLLENS DU GENRE EPHEDRA.

Le genre *Ephedra*, seul représentant de la famille des Ephédraçées, appartient au groupe des Chlamydospermes qui, rassemblant les trois ordres des Ephedrales, Welwitchiales et Gnétales, se situe du point de vue systématique, dans une position intermédiaire entre les Gymnospermes et les Angiospermes. Sous forme arbustive ou lianoïde, les espèces de ce genre sont inféodées aux régions sub-tropicales tempérées chaudes, réparties selon trois aires principales : les zones désertiques à l'ouest du continent nord-américain, les régions sèches d'Amérique du Sud, un vaste territoire eurasiatique, s'étendant depuis l'Asie centrale, couvrant toute la région méditerranéenne pour atteindre les îles Canaries. Quelques espèces du genre *Ephedra* sont actuellement présentes en Afrique nord-tropicale et il s'est avéré, au cours des analyses polliniques des sédiments prélevés au Sahara nord-occidental, qu'*Ephedra* y existait déjà au Néogène, puis a persisté, à certaines époques du moins, au Quaternaire. Il importait alors de tenter de préciser si les pollens fossiles pouvaient être attribués à l'une ou plusieurs des espèces actuellement connues au Nord du Sahara, ou bien à la seule espèce, *Ephedra alata*, qui occupe à présent le territoire désertique dans lequel se situe notre étude, ou enfin à une toute autre espèce.

1) Caractères morphologiques des pollens des espèces actuelles du genre *Ephedra*.

Avant d'aborder les données que nous avons pu recueillir sur des fossiles dont l'observation était ici encore assez délicate, nous donnerons un aperçu de la morphologie assez particulière des pollens d'*Ephedra*. Quelques cinquante espèces actuelles sont rassemblées dans ce genre, dont la monographie encore utilisée, a été établie par O. STAPP (1889). La synthèse, donnée par G. ERDTMAN (1965), des travaux relatifs à la morphologie des pollens d'un grand nombre de ces espèces, manifeste l'intérêt qu'elle a soulevé si l'on considère le nombre des auteurs cités. Les principaux documents que nous avons consultés sont les observations ou publications, de plus ou moins grande importance, de E.M. VAN ZINDEREN BAKKER (1953), M. WELTEN (1957), R.P. WOODHOUSE (1959), M.W. STEEVES et E.S. BARGHOORN (1959) H.J. BEUG (1961) et G. ERDTMAN (*loc. cit.*). Si l'étude de M.W. STEEVES et E.S. BARGHOORN (*loc. cit.*) est, certes, la seule qui soit exhaustive, puisqu'elle concerne la presque totalité des espèces connues, elle est cependant très complexe : nous y avons puisé les données morphologiques d'ordre général qui rejoignent celles d'autres auteurs mais ce sont principalement les descriptions de M. WELTEN (*loc. cit.*) et de G. ERDTMAN (*loc. cit.*) qui nous ont permis de rassembler les quelques caractères qui servent de critères de détermination du pollen d'*Ephedra* (figures 15, A, B, C, p. 199).

Le pollen est fusiforme, l'axe le plus long, qui coïncide (sauf exception) avec l'axe polaire, variant entre 39 et 75 μ , bien que des valeurs extrêmes de l'ordre de 22 et 86 μ aient été observées. Le rapport entre les dimensions des deux axes oscille de 1,1 à 2,6 (1,8 en moyenne). Le pollen est orné de crêtes longitudinales disposées suivant les méridiens, plus ou moins sinueuses ou droites, en nombre variable suivant les espèces (5 à 20). Les pollens sont considérés comme "colpés", les crêtes étant séparées par des sillons en forme de "V", dont le fond est souligné par une ligne hyaline, claire, qui peut être rectiligne et sans ramifications, ou en zigzag, pourvue ou non de ramifications latérales plus ou moins longues et

régulières. Les crêtes sont coalescentes aux extrémités du pollen, déterminant deux aires lisses qui, d'après M. WELTEN (*loc. cit.*) sont reconnues comme des zones germinatives possibles, sachant qu'une autre hypothèse consiste à admettre que la germination peut se faire au niveau des lignes hyalines des sillons, ces derniers devenant alors fonctionnels.

Quant à la structure de l'exine, elle doit être définie d'après l'observation des crêtes, en coupe optique comme en "L-O analyse" (*cf.* chapitre VIII). L'ectexine forme les crêtes longitudinales, chaque crête étant composée de deux bandes méridiennes épaisses, optiquement denses et jointes, à l'apex de la crête plus ou moins arrondie ou angulaire, par une bande centrale hyaline. En "L-O analyse" et en coupe optique, tous ces éléments sont parfaitement visibles : en coupe optique, ectexine et endexine sont alors très nettement distinctes. Chaque crête coiffe une cavité interne de section triangulaire, dont la base repose sur l'endexine qui apparaît comme une simple couche de section circulaire. Si en coupe, une cavité interne semble souvent optiquement vide, il est plus net, en "L-O analyse", que celle-ci est occupée par une structure que nous avons pu observer comme finement alvéolaire. Celle-ci résulterait de la présence de processus ou d'excroissances d'ectexine hyaline (?) ou d'endexine (?) ou des deux à la fois (M. WELTEN, *loc. cit.*, p. 42 et G. ERDTMAN, *loc. cit.*, p. 39). Serait-ce un caractère qui manifeste la proximité du genre *Ephedra* du groupe des Gymnospermes ?

A la suite de ce bref exposé des caractères morphologiques définissant le pollen d'*Ephedra*, seront précisées quelques remarques nécessaires avant que soient abordées les données tirées de l'observation des pollens fossilisés au Sahara. Ces remarques concernant, d'une part la très grande variabilité d'un petit nombre de ces caractères chez les pollens actuels appartenant à une même espèce (taille des pollens et forme des crêtes notamment), d'autre part la possibilité d'orienter la détermination des fossiles en tenant compte de deux autres caractères dont la constance relative permettrait de procéder par élimination de certaines espèces : la forme de la ligne hyaline des sillons et le nombre des crêtes.

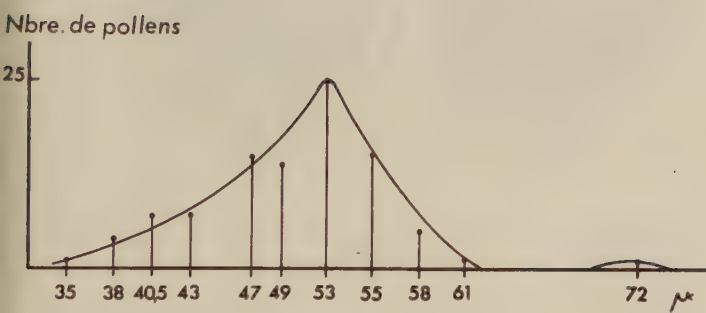
2) Variation ou stabilité des caractères morphologiques à l'intérieur d'une même espèce.

a) La longueur de l'axe polaire.

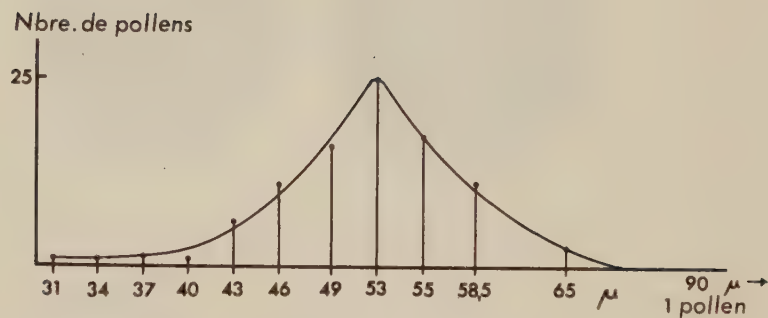
Les valeurs extrêmes entre lesquelles peut varier la longueur de l'axe polaire et l'écart considérable possible entre ces limites ont déjà été signalés. Il a paru intéressant d'apporter des exemples précis de cette variabilité et dans ce but, nous avons effectué des mesures de l'axe polaire de 100 pollens appartenant à chacune des deux espèces suivantes, présentes au Nord de l'Afrique : *Ephedra alata* ssp. *alenda*, actuellement saharienne et *Ephedra altissima* var. *algerica*, plus nettement nord-africaine. Le résultat de ces mesures est porté sur la figure 14. Il a été observé, chez *Ephedra alata*, une variation de la longueur de l'axe polaire, entre 35 et 72 μ . Cependant, ne se trouvant pas dans le lot des pollens mesurés il en a été remarqué de plus petits dont la longueur de l'axe ne dépasse pas 24 μ , rarissimes probablement comme l'est le pollen de 72 μ figurant sur le graphique. Le sommet de la courbe de répartition des pollens selon leur taille se situe à 53 μ , valeur qu'atteignent 25% d'entre eux, alors que près de 30% de ceux-ci recouvrent les valeurs 47-49 μ et 15% seulement mesurent 55 μ . On peut alors considérer que les valeurs 47 et 55 μ représentent les marges entre lesquelles varie la longueur du plus grand axe de 70% des pollens de l'espèce envisagée. La variabilité de la longueur du pollen, le plus souvent constatée, est donc ici de l'ordre de 8 μ . Considérant la courbe de répartition également établie chez *Ephedra altissima* var. *algerica*, il s'avère qu'elle manifeste une régularité très nette. Autour de la même valeur moyenne que précédemment (53 μ), à laquelle correspond un même pourcentage de pollens (25%), se répartissent de façon remarquablement équivalente, des pollens dont la taille marque un écart de 3 et 6 μ par rapport à cette moyenne. Ainsi entre 48 μ et 58,5 μ , dans un intervalle de taille plus étendue cette fois (12 μ), se trouvent groupés 80% des pollens. Ces deux exemples illustrent clairement le fait que le critère "taille" ne peut être utilisé comme un critère de détermination spécifique valable, dans le cas des pollens du genre *Ephedra*.

b) La forme des crêtes.

Quelle que soit l'espèce envisagée, la forme des crêtes est elle-même un caractère extrêmement variable. Dans une récente communication orale (1970), relative précisément aux variations intervenant dans les types polliniques, Mme VAN CAMPO citait le cas particulier des pollens d'*Ephedra*, évoquant l'existence de petits et de gros pollens et signalant chez les grands pollens, une variation supplémentaire, certains présentant des crêtes à apex sinueux, d'autres à apex non sinueux. Les observations que nous avons faites nous-même permettent semble-t-il, de préciser que cette remarque est aussi valable pour les petits pollens : cela s'est trouvé vérifié chez plusieurs espèces, celles précédemment citées et également *Ephedra altissima* var. *mauritanica*, *Ephedra fragilis* var. *campylopoda*. En fait, lorsque l'on observe une lame de référence correspondant à l'une de ces espèces, on peut affirmer que l'on y rencontre toutes les variations possibles, entre des pollens montrant des crêtes aussi nettement sinuouses que sur la figure 15, A1 et ceux portant des crêtes rectilignes comme sur la figure 15, A4. L'observation des pollens d'*Ephedra altissima* var. *algerica* a posé un problème à ce sujet. Chez un très grand nombre de pollens de cette espèce, il apparaît à l'intérieur même du pollen, un corps ovoïde qui de toute évidence est entouré d'endexine (figure 15, B 1-3). Nous nous sommes alors demandée si, à la suite d'un décollement d'endexine, probablement dû aux techniques de préparation précédant le montage des pollens de référence, il ne se produirait pas une sorte de détente de l'ectexine au niveau des crêtes sinuouses, provoquant alors un allongement du pollen suivant son plus grand axe. Il eut fallu une étude plus systématique, d'un nombre suffisamment grand de pollens, pour répondre à cette question. Toutefois il ne paraît pas du tout impossible que l'on puisse y répondre par l'affirmative. Ce phénomène de décollement de l'endexine a été remarqué également chez *Ephedra altissima* var. *mauritanica*, mais non chez *Ephedra alata*. Chez cette dernière espèce, par ailleurs, ont été observées, tant sur les petits pollens que sur les grands, des crêtes très sinuouses, ou légèrement ondulées, ou parfaitement rectilignes (figure 15, A 1,3,4).



Ephedra alata ssp. alenda



Ephedra altissima var. algerica

Fig. 14 Variation de la longueur de l'axe polaire chez les pollens d'*Ephedra alata ssp. alenda* et *Ephedra altissima var. algerica*.



Fig. 15 : Mise en évidence de quelques caractères morphologiques étudiés chez des pollens d'espèces du genre *Ephedra*. A : *Ephedra alata* ssp. *alenda* - 1 et 2 (vue méridienne et coupe optique du même pollen), 3, 4, montrant l'extrême variabilité des caractères suivants : longueur de l'axe polaire, forme des crêtes et de la ligne hyaline, chez des pollens observés dans un même montage. B : *Ephedra altissima*, var. *algerica* - 1 et 2 : vue méridienne et coupe optique montrant les crêtes rectilignes et le décollement de l'endexine, 3 et 4 : coupe optique équatoriale et vue polaire oblique montrant un nombre élevé de crêtes, en 3, la structure des crêtes, après décollement de l'endexine, apparaît nettement (en A et B grandissement 1000). C : Types polliniques définis par H.J. BEUG (1961) - 1 : type "*distachya*", 2 : type "*fragilis*".

c) La forme de la ligne hyaline des sillons.

Si l'on se réfère aux données des auteurs, M. WELTEN (*loc. cit.*) et H.J. BEUG (*loc. cit.*) notamment, il semble que l'aspect général du sillon, marqué par la ligne hyaline qui le parcourt, soit considéré comme un caractère relativement capable, avec le nombre des crêtes, de définir le pollen d'une espèce. H.J. BEUG, en effet reconnaît deux types polliniques :

- un type "distachya", groupant des pollens dont les sillons sont soulignés par une ligne hyaline ramifiée, les branches latérales pouvant s'anastomoser entre elles. Les ramifications peuvent aussi être extrêmement réduites ou disparaître, la ligne hyaline apparaissant alors en zig-zag. A cette catégorie appartiennent entre autres les pollens d'*Ephedra distachya* et *Ephedra major* (figure 15, C1).

- un type "fragilis", groupant des pollens dont la ligne hyaline est droite et ne porte jamais de ramifications (figure 15, C2).

Ce caractère, apparamment stable, que l'auteur accorde à l'aspect de la ligne hyaline ne semble pas cependant être un critère aussi sûrement valable. Il n'a pas été possible de l'observer sur un nombre suffisamment grand d'espèces, toutefois le cas le plus remarquable et le plus en contradiction avec les données précédentes, est celui des pollens d'*Ephedra alata*. D'après M. WELTEN, les sillons, chez les pollens de cette espèce, sont "fortement sinueux, devenant rarement anguleux, portant des ramifications isolées mais très courtes (*loc. cit.*, p. 16). Des observations faites sur des pollens de cette même espèce, issus de trois échantillons floraux différents, permettent d'affirmer que la ligne hyaline, donc l'aspect du sillon, chez *Ephedra alata*, est pour le moins aussi variable que la forme des crêtes. Il y a été remarqué des lignes hyalines en zig-zag très accentué, portant des ramifications anastomosées entre elles, d'autres en zig-zag moins affirmé, à ramifications moyennes ou courtes, certaines tout simplement sinueuses, d'autres enfin tout à fait droites. Chez *Ephedra altissima*, la variation semble beaucoup moins nette : la ligne hyaline est légèrement sinueuse ou droite.

Il n'est pas possible toutefois, à partir de l'observation de pollens d'un trop petit nombre d'espèces, de conclure définitivement à l'impossibilité de considérer la forme du sillon comme un caractère utilisable pour la détermination spécifique : nous garderons seulement une certaine prudence, quant au profit que l'on peut en tirer au moment de la détermination des pollens fossiles, n'abandonnant pas pour autant les deux principaux types définis par H.J. BEUG.

d) Le nombre des crêtes.

Celui-ci n'est déterminable que sur des pollens observés "en bout", c'est-à-dire en vue polaire ou légèrement oblique. C'est le caractère le plus délicat à définir et c'est là tout à fait regrettable, car c'est aussi l'un des critères les plus importants qui permettent d'approcher une détermination spécifique. La longueur de l'axe polaire des pollens d'*Ephedra* est telle que, placés entre lame et lamelle, ces derniers s'orientent le plus souvent selon cet axe. Dans les montages de pollens actuels on ne rencontre qu'un très faible pourcentage de vues polaires. Dans le milieu glycérociné servant au montage des sédiments, les pollens d'*Ephedra* se présentent à peu près exclusivement en vue méridienne et il est très difficile, même en exerçant une pression sur la lamelle, afin de le faire tourner ou se déplacer, d'obtenir qu'un pollen s'oriente de façon convenable et pendant une fraction de temps suffisante, pour donner la possibilité de compter le nombre de ses crêtes. C'est là un détail tout à fait technique mais qui ne manque pas d'importance : il marque combien la détermination de certains pollens fossiles morphologiquement très caractéristiques et ne posant de ce fait, aucun problème au niveau générique, devient extrêmement délicate lorsque l'intérêt de ces derniers nécessite d'en identifier l'espèce. Quant aux précisions concernant le nombre des crêtes en fonction des diverses espèces, nous reviendrons ultérieurement.

3) Les pollens du genre *Ephedra* fossilisés dans les sédiments sahariens.

Deux points seront envisagés ici : les caractères morphologiques tels que nous avons pu les observer sur ces derniers pollens d'une part, d'autre

part la possibilité de préciser l'espèce représentée, en comparant les caractères des pollens fossiles à ceux d'un certain nombre d'espèces actuelles.

a) Les caractères morphologiques des pollens fossiles.

Quelques-uns des pollens fossiles d'*Ephedra* déterminés figurent sur les planches photographiques (Pl. XVI, figure 14 - Pl. XVII, figure 20, Pl. XX, figure 5 - Pl. XXI, figures 17 et 19-20). Dans l'ensemble des analyses, la longueur de l'axe polaire des pollens identifiés varie de 35 à 50 μ , une valeur moyenne de représentation se situant au voisinage de 40-45 μ . Il est arrivé de rencontrer de très petits pollens de 25 μ , tels les pollens actuels précédemment décrits mais tout aussi rares. Cette taille moyenne qui du point de vue de la détermination n'apporte aucun élément de comparaison, laisse entrevoir, si nous la situons par rapport à l'écart de variation de la taille des pollens actuels étudiés, une diminution normale due à la fossilisation, comme nous l'avons remarqué à propos des pollens de *Pinus*.

Quant à la forme des crêtes, qui est un mauvais critère de détermination, elle est très variable. Ces dernières ne présentent jamais toutefois de sinuosités aussi accentuées que chez les pollens actuels. Elles sont parfois légèrement ondulées, rectilignes sur un grand nombre de pollens. C'est la raison pour laquelle, l'hypothèse d'un allongement possible du pollen à la suite d'un décollement d'endexine attribuable aux phénomènes de fossilisation, a précédemment retenu notre attention. Sur les pollens fossiles nous avons cherché à voir la structure de l'exine, ce qui n'est pas aisé, car il est fréquent qu'ils soient repliés suivant leurs sillons et ne laissent plus guère apparaître de coupe visible dans l'exine. De temps à autre toutefois ont été observées, chez certains pollens, à la fois ectexine et endexine. Très fréquemment cependant, l'exine est si mince et apparemment astructurée qu'elle ne semble plus représenter que la seule ectexine. L'observation faite sur la variété "*algerica*" d'*Ephedra altissima* et l'absence, semble-t-il, de l'endexine sur un bon nombre de pollens fos-

siles nous a seulement suggéré l'hypothèse précédente, il y a là un fait d'observation qui a retenu notre attention sans cependant recevoir d'explication.

Il s'avère que la forme de la ligne hyaline, sur un très grand nombre d'éléments fossiles, n'est plus observable, soit parce que les pollens sont repliés, précisément, au niveau de ces lignes de moindre résistance et resserrés suivant leur grand axe, soit parce que, l'endexine ayant disparu, il semble qu'il n'y ait plus de fond qui fasse apparaître cette zone particulièrement mince et claire. Toutefois, dans un certain nombre de cas, nous avons pu remarquer des sillons soulignés par une ligne sinueuse ou en zig-zag, portant de temps en temps des ramifications. Nous pensons pouvoir dire que si les pollens avaient porté un système de ramifications très développées et longues, ce dernier aurait été visible sur le profil des sillons, même lorsque ceux-ci sont repliés. Il est probable que dans la mesure où nous n'avons pu observer aucun détail de cet ordre, cela signifie la présence, au fond des sillons, de lignes hyalines tout au plus sinueuses, ou à ramifications suffisamment courtes pour n'être pas perceptibles.

Enfin, malgré les difficultés techniques que cela suppose, nous avons tenté de compter sur le plus grand nombre possible de pollens le nombre des crêtes présentes. L'écart de variation est faible. En général, les pollens portent 7 ou 8 crêtes, très rarement 10. Dans un cas à peu près unique, nous avons pu saisir une vue polaire stable et la photographier : cette vue, bien qu'un peu confuse permet cependant de compter 8 crêtes (Pl. XXI, fig. 19).

Tels sont les quelques caractères qu'il était possible de rassembler ici, définissant les pollens d'*Rhynchospora* fossilisés dans les sédiments sahariens. Ces pollens en apparence facilement reconnaissables ont pourtant entraîné beaucoup d'hésitation et la nécessité de revenir plusieurs fois sur des observations que nous voulions confronter, le plus précisément possible avec celles faites sur des pollens d'espèces actuelles.

b) Essai de détermination spécifique.

La longueur de l'axe polaire, la forme des crêtes se sont révélées finalement des caractères inaptes à apporter une solution au problème de la détermination spécifique des pollens fossiles d'*Ephedra*. Plus valables sont les données tirées de l'observation des sillons, conjointement à la détermination du nombre des crêtes lorsqu'elle a été possible, ce dernier critère paraissant certainement le plus sûr dans le cas du moins des pollens ici envisagés. Puisqu'en effet, chez la majorité des pollens observables en vue polaire, le nombre de crêtes comptées est de 7 ou 8, cela doit nous permettre d'établir une discrimination entre les différentes espèces actuelles auxquelles nous devons maintenant comparer les pollens fossiles. Nous pouvons considérer sans commettre, semble-t-il, de risque d'erreur, que la constance du nombre des crêtes qu'ils portent nous autorise à supposer que tous les pollens du genre *Ephedra* fossilisés, peuvent être rapportés à une même espèce. Les pollens actuels envisagés comme éléments de comparaison, sont ceux des espèces répandues sur le pourtour du bassin méditerranéen, dont le plus grand nombre appartient à la flore du Nord de l'Afrique. Compte tenu des renseignements que donne la Flore de R. MAIRE (1952) et la publication de M. WELTEN (1957), ces espèces sont les suivantes : *Ephedra alata* Dec. (ssp. *decasnei* Stapf et ssp. *alenda* Stapf), *Ephedra altissima* Desf. (var. *algerica* Stapf, var. *mauretanica* Stapf, var. *tripolitana* Pamp.), *Ephedra rollandii* Maire, *Ephedra fragilis* Desf. (ssp. *desfontainei* Stapf, ssp. *Cossonii* stapf, ssp. *campylopoda* C.A. Meyer, *Ephedra major* Host. var. *nebrodensis* Tineo (= *E. major* var. *villarsii*), *Ephedra distachya* L. ssp. *helvetica* C.A. Meyer, cette dernière espèce étant seule étrangère à l'Afrique.

En premier lieu, nous devons éliminer les espèces dont les pollens représentent le plus sûrement le type "*distachya*", espèces d'ailleurs citées par H.J. BEUG (*loc. cit.*) : *Ephedra distachya* p.p.d., *Ephedra major* var. *nebrodensis*. Ces dernières en effet, présentent au niveau des sillons un système de ramifications développées qui eut été reconnaissable sur les

pollens fossiles, nous l'avons vu. Il reste alors pour éléments de comparaison les pollens des espèces suivantes dont nous rappellerons les principales caractéristiques :

- *Ephedra altissima*. Les variétés "*algerica*" et "*mauretanica*" ont été étudiées. D'après M. WELTEN la variété "*algerica*" porte 7-9-15 crêtes. R.P. WODEHOUSE (1959) en signale environ 11. Les observations que nous avons faites nous-même, sur des pollens issus de trois échantillons floraux différents, nous ont permis de compter 12 crêtes en moyenne dans un premier cas, 8 à 15 crêtes avec une valeur moyenne de 11 dans un second cas, 10 à 12 crêtes en moyenne dans un troisième enfin. Il semble possible de déduire de ces données que chez cette variété d'*Ephedra altissima*, le nombre moyen de crêtes est de 10-12. Ce nombre ne paraît être inférieur à 10 que sur de très rares grains. Par ailleurs, des comptages effectués sur des pollens de la variété "*mauretanica*" ont donné une valeur minimale de 11 crêtes sur le plus grand nombre des pollens observés. Il apparaît alors assez peu probable que le nombre à peu près constant des 7-8 crêtes ornant les pollens fossiles, nombre quasiment toujours inférieur à 10, permette de conclure à un rapprochement possible entre ces derniers et ceux de l'une quelconque des variétés d'*Ephedra altissima*. Voisine d'*Ephedra altissima*, *Ephedra rollandii*, est signalée au Sahara occidental sub-océanique jusqu'à l'Adrar de Mauritanie et considérée par R. MAIRE (*loc. cit.*) comme une sous-espèce probable, ou une variété, de l'espèce précédente très polymorphe. Nous pensons donc qu'elle doit être exclue, au même titre que cette dernière, des espèces dont les fossiles peuvent être rapprochés. Il en est de même d'*Ephedra alte*, espèce palestinienne, également répandue en Cyrénaïque, Tripolitaine, Egypte et qui, selon les synonymies données par R. MAIRE, serait proche aussi d'*Ephedra altissima*. *Ephedra alte*, d'après M. WELTEN porte 9 à 15 crêtes et d'après G. ERDTMAN (1965), 16 environ.

- *Ephedra fragilis*. Les ssp. "*desfontainei*" et "*campylopoda*" ont des pollens portant 9 à 15 crêtes (M. WELTEN). Seule la ssp. *desfontainei* est présente au Maroc et en Algérie, *Ephedra fragilis* var. *campylopoda* vivant en Méditerranée orientale (Grèce, Crête). Chez cette dernière, nous

avons observé un nombre de crêtes toujours supérieur à 10. Il n'apparaît donc pas, cette fois encore, que se trouve en cette espèce ou en l'une de ses variétés, un élément voisin des fossiles envisagés. D'autre part, la présence visible de ramifications courtes au niveau des sillons d'un petit nombre de pollens fossiles paraît exclure que ces derniers appartiennent au type "*fragilis*" de H.J. BEUG, encore que M. WELTEN signale chez la ssp. *desfontainei* des sillons droits mais portant "très rarement de petites ramifications" (*loc. cit.*, p. 16).

- *Ephedra alata*. Cette espèce est commune actuellement au Sahara septentrional et occidental (Pl. I, figure 2). Il ressort des données de M. WELTEN et de G. ERDTMAN que le nombre des crêtes varie de 7 à 10 chez ses pollens. Les comptages que nous avons faits nous-même sur plusieurs échantillons de pollens, d'origine différente, de la ssp. *alata*, ont permis de préciser que l'écart de variation, donné par les auteurs, présente un maximum correspondant à 8 crêtes, valeur satisfaisante en comparaison du nombre de celles-ci, évalué chez l'espèce fossile (1). Par ailleurs, bien qu'étant un argument de peu de poids en raison de la pauvreté des observations, les variations probables discernées chez les pollens fossiles au niveau du sillon, permettant de présumer de la forme de la ligne hyaline, serait compatible avec l'extrême variabilité de l'aspect de cette dernière chez les pollens actuels d'*Ephedra alata*.

Certes, c'est essentiellement après avoir procédé par élimination de la majorité des espèces actuelles périméditerranéennes, au vu des caractères morphologiques de leurs pollens, que nous avons été amenée à reconnaître que seuls, les pollens d'*Ephedra alata* semblent répondre aux caractéristiques que nous ont permis de définir des observations multiples et

(1) Notons ici combien sont surprenantes les données apportées à ce sujet par M. W. STEEVES et E.S. BARGHOORN (1959), données dont l'importance est de tout premier ordre pour cette étude. Ces auteurs décrivent *Ephedra alata* comme "the species which possesses the greatest number of ridges" (11-20), affirmation qui n'est absolument pas en accord avec les définitions des autres auteurs ni avec nos propres observations.

dispersées sur un très grand nombre de pollens fossiles. La variabilité très prononcée des caractères morphologiques des pollens des espèces actuelles, engage à conclure cette détermination spécifique en lui conservant une nuance de prudence. Pensant par ailleurs à l'extraordinaire capacité d'adaptation du genre *Ephedra*, évoquée par O. STAPF (1889), on ne peut exclure, même au niveau spécifique, d'éventuelles possibilités de variations au cours du Néogène et du Quaternaire. Pour cette raison, nous reconnaitrons à travers les pollens fossilisés dans les sédiments sahariens la présence d'*Ephedra* cf. *alata*. Ce développement qui aboutit ici à la détermination spécifique du genre *Ephedra* a pu paraître très long. La fréquente abondance des pollens de ce genre dans un grand nombre des analyses et les conditions de milieu assez particulières auxquelles est liée l'espèce saharienne actuelle, nécessitaient que soient précisés de façon suffisamment détaillée les caractères morphologiques, tant des pollens fossiles que des pollens actuels auxquels nous cherchions à les comparer.

V - LES POLLENS DE LA FAMILLE DES CHENOPODIACEES.

Avant d'aborder ces considérations relatives aux pollens des Chénopodiacées, nous voudrions évoquer les réflexions qui nous ont été exprimées par M. FAUREL (communication orale, 1970) à propos de cette importante famille à caractère assez cosmopolite, mais essentiellement inféodée, par un grand nombre de ses genres, aux sols salés des régions arides et semi-arides. Ces réflexions sont celles du botaniste qui sur le terrain, s'est heurté aux difficultés de détermination, aux incompréhensibles ressemblances ou dissemblances entre des échantillons qui, de fait, devraient être morphologiquement différents ou semblables, de par leur appartenance générique ou spécifique. A ces réflexions font écho, d'ailleurs, les quelques lignes d'introduction à l'étude de cette famille, dans la Flore du Sahara de P. OZENDA (1958). Pour les botanistes en effet, l'étude des Chénopodiacées est déconcertante : beaucoup d'espèces appartenant à des genres différents se ressemblent alors que, paradoxalement, un grand nombre d'espèces mani-

festent un étonnant polymorphisme qui se traduit de façon courante, entre plusieurs pieds d'une même plante ou les rameaux mêmes d'un seul pied. Pour avoir une très grande connaissance de la flore désertique qui présente un intérêt capital pour le choix de leurs pâturages, les indigènes sont capables, nous disait M. FAUREL, de donner comme semblables des échantillons que les botanistes considèrent comme différents. C'est dire la complexité que suppose l'étude morphologique des genres ou espèces composant cette famille qu'un auteur ancien nommait "le crapeud du règne végétal", explicitant bien à travers cette image son caractère ingrat et peu attrayant. Du point de vue pollinique, les problèmes posés par cette famille ne sont pas moins complexes, malgré l'apparente simplicité à laquelle laisserait croire facilement l'existence, au sens large, d'un type morphologique unique, sphérique, périporé (Pl. XXI, figure 9), dont on peut considérer comme variables, la taille, le nombre des pores et le diamètre de ces derniers suivant les genres ou espèces envisagés. A travers cette simplicité en effet, on se heurte à une très grande ressemblance entre certains pollens appartenant à des genres différents, ressemblance qui, au niveau de la détermination des pollens fossiles, limitera considérablement la possibilité de discriminations d'ordre générique.

En l'absence d'études approfondies des pollens de cette famille, nous avons utilisé comme documents de référence, les pollens d'un bon nombre d'espèces de la flore saharienne actuelle et de quelques espèces nord-africaines ainsi que les observations, non publiées, qu'a bien voulu nous communiquer M. GUINET (communication orale, 1969), relatives aux caractères précédemment cités, chez 35 espèces environ correspondant pour certaines, à celles dont nous avons pu observer nous-même des références. De l'examen de l'ensemble des pollens de ces espèces il ressort, si l'on se limite aux trois caractères précédents sans s'engager dans une étude des structures, que la taille de ces pollens varie entre 15 et 30 μ approximativement, que le nombre des pores se situe entre 12-15 et 60, un maximum de représentation correspondant, d'une part aux pollens portant entre 12 et 25 pores, d'autre part à ceux portant 55-60 pores. Selon les genres et les espèces,

le diamètre des pores est de l'ordre de 1,5 à 4 μ . Pour préciser ces observations, notons qu'au niveau de la taille des pollens, interviennent des variations importantes pouvant atteindre 6-8 μ (*Bassia muricata*, *Suaeda monodiana* par exemple) et que, dans le cas de telles variations, le diamètre des pores est lui-même proportionnellement variable. Notons également qu'il n'est pas aisé de déterminer sur un pollen périporé sphérique le nombre des pores, notamment lorsque celui-ci est élevé. Dans l'état actuel des connaissances relatives aux pollens de cette famille, il n'existe pas d'étude approfondie de la structure de l'exine ou du système apertural, étude qui peut-être apporterait quelques éléments complémentaires, servant de base à des distinctions entre les genres au moins. On sait seulement que sur les pollens actuels, des opercules sont visibles, recouvrant les pores.

Compte tenu des difficultés rencontrées au niveau-même de l'examen des pollens des genres et espèces actuels, on conçoit combien devient délicate la détermination des pollens fossiles de cette famille. Un pollen de Chénopodiacee est, en soi, facilement reconnaissable (encore que de possibles confusions existent avec les pollens d'Amaranthacées ou de certaines Caryophyllacées), mais au-delà de la reconnaissance de la famille, il est tout juste possible de répartir les pollens entre un petit nombre de catégories rapportées à quelques genres pouvant servir de type. La détermination est d'autant plus délicate que l'état de conservation des pollens fossiles, dans un grand nombre de cas recroquevillés, pliés, aplatis, ne permet de fixer que de façon très approximative leur taille et le nombre de leurs pores : le pollen fossile, photographié et précédemment noté comme illustrant le type morphologique caractérisant les Chénopodiacees, est en cela un mauvais exemple car il est particulièrement bien conservé. Nous devons reconnaître toutefois qu'une étude de sédiments que nous entreprendrions à l'heure actuelle, en possession de moyens d'observation et de comparaison perfectionnés, conduirait sûrement à une plus grande précision de nos déterminations et à une distinction vraisemblablement, de catégories un peu plus nombreuses. Dans l'état actuel de ces recherches, la flore pollinique globale représentant les Chénopodiacees ne rassemble que deux seuls groupes :

a) un groupe nommé "type *Atriplex*" : pollens fossiles dont la taille varie de 18 à 25 μ environ, présentant dans la grande majorité des cas 50 à 60 pores (c'est d'après le nombre des pores précisément qu'a été défini ce type). Si l'on prend pour référence l'actuelle flore pollinique saharienne ou nord-africaine, ce type rassemble les pollens d'un certain nombre de genres ou espèces que nous nous devons de noter ici, étant donnée la présence probable, parmi la flore fossile, de certains d'entre eux du moins. Ce sont notamment :

Atriplex halimus, *Atriplex dimorphostegia*

Salicornia fruticosa

Suaeda fruticosa, *Suaeda monodiana*, *Suaeda mollis*

Salsola vermiculata

Bassia muricata

Il est peut-être regrettable que, trop tardivement, nous nous soyons aperçue que dans le groupe des pollens fossiles rattachés au "type *Atriplex*" nous avons introduit des pollens ne présentant que 40 pores environ et qui fort probablement, correspondent à la présence dans la flore pollinique, de *Salsola foetida* (1) (ce nombre de pores peut aussi caractériser *Salsola tetrandra*). Ceci toutefois reste sans conséquences quant à la signification écologique globale du groupe des pollens rassemblés ici. Il s'agit en effet, d'une association à caractère édaphique, donc locale, sub-halophile - halophile - halogypsophile, liée actuellement aux sables et limons argileux des lits d'oueds et des terrasses alluvionnaires (Saoura notamment), ou aux sols salés de certaines dépressions et de "sebkhas". On se souvient des faciès à Salsolacées reconnus par Ph. GUINET et antérieurement évoqués (cf. chapitre III), dont la composition varie en fonction du salant et de l'humidité et dont le faciès à *Salsola foetida* n'est qu'un cas particulier, lié à un milieu plus sec. En marge de ce groupement halophile, *Bassia muricata* est une plante spécifiquement saharienne, caractéristique de milieux sableux : si quelques pollens de ce genre sont effectivement présents dans la microflore de "type *Atriplex*", il reste "morphologiquement" impossible de le préciser.

(1) Quant au nombre des pores caractérisant cette espèce, nos observations ne correspondent pas à celle de M. VAN CAMPO (1957, Pl. X) qui signale seulement 24 pores.

b) un groupe nommé "autres Chénopodiacées" : pollens fossiles caractérisés par une taille inférieure à celle des pollens du groupe précédent et par leur petit nombre de pores. Nous pensons pouvoir dire qu'il est essentiellement composé de pollens de *Cornulaca monacantha* (pollen actuel : 15-16 μ en moyenne, 13-14 pores de 1,5 μ de diamètre). Cette espèce caractérise la pseudo-steppe définie par Ph. GUINET (pseudo-steppe à *Randonia africana* - *Cornulaca monacantha*, cf. chapitre III) comme une association de reg sableux fin, en bordure d'erg : c'est une psammophile strictement saharienne, que P. QUEZEL considère comme également gypsicole (1965a, p. 94)

Dans ce groupe, il est possible que soient présents des pollens de *Beta patellaris*, dont la taille est voisine de celle du pollen de *Cornulaca monacantha* et le nombre des pores seulement légèrement supérieur (20 en moyenne, 1,5 μ de diamètre). Une distinction est possible, du moins sur des pollens bien conservés, entre ces deux genres, à l'aide du microscope de comparaison, moyen dont nous ne disposons pas encore lorsqu'ont été faites les analyses qui suivront. *Beta patellaris* est une espèce plurirégionale, donc sans aucun intérêt d'ordre écologique. Peut-être également ont été introduits dans ce groupe des pollens mal conservés d'*Haloxylon articulatum*, espèce que par ailleurs, dans un petit nombre de cas précis, nous avons pu reconnaître. Les pollens de cette espèce, bien que signalés par Ph. GUINET comme des pollens de 20 μ se sont révélés dans un montage de référence que nous avons pu observer, comme étant de taille variable, les plus petits d'entre eux mesurant 16 μ . La distinction entre ces pollens et ceux de *Cornulaca* est évidente sur les échantillons actuels, au niveau de la taille du pore qui, chez *Haloxylon* atteint 3 μ et dont le contour est plus nettement défini. Cette possibilité de distinction peut disparaître sur des pollens fossiles altérés. La pseudo-steppe à *Haloxylon* des regs caillouteux non ensablés, est un groupement à affinités méditerranéennes, qui traduit l'apparition des influences désertiques dès le revers de l'Atlas.

En conclusion de cette analyse des pollens de Chénopodiacées rencontrés dans les sédiments sahariens, deux orientations peuvent être données à l'interprétation de la représentation de cette famille dans le passé, en

dépit de l'imprécision des déterminations, à laquelle nous n'avons pu échapper. Les deux groupements que nous avons définis caractérisent chacun un milieu particulier, un type de végétation lié, pour le premier à des sols salés sporadiquement humides, à des lits d'oueds fonctionnels temporairement au moins, pour le second, à la proximité de formations sableuses. Ces types de végétation que révèlent les pollens étudiés, sont actuellement bien développés respectivement dans la vallée de la Saoura et en bordure des ergs. Ce sont des associations à caractère édaphique très prononcé. En terminant cette étude des Chénopodiacees précisons qu'au cours de l'analyse pollinique, il n'est pas apparu que soient représentées par leurs pollens, deux espèces nettement sahariennes actuellement : *Trigonum nudatum*, tolérante au gypse, participant pourtant à la pseudo-steppe halophile et surtout *Anabasis arctioides*, le "chou-fleur de Bou-Hamama" des Hamada sud-marocaines, de la Hamada du Guir notamment (cf. chapitre III). De même il semble exclu que soient présents dans la microflore fossile, des pollens appartenant aux espèces hyperhalophiles caractéristiques des groupements du Sahara septentrional ou des Chotts des Hauts-Plateaux : *Halocnemum strobilaceum*, *Arthrocnemum indicum*, cette dernière, méditerranéenne, descendant pourtant actuellement jusqu'en Saoura. S'il est possible de présumer de l'absence dans la flore pollinique d'individus représentant ces espèces, c'est que leurs pollens sont précisément reconnaissables, s'éloignant des types définis au début de cette étude.

VI - LES POLLENS DE LA FAMILLE DES COMPOSEES (excepté le genre *Artemisia*).

Du point de vue systématique, les plus récents auteurs (L. EMBERGER entre autres, 1960) ont conservé le principe d'une classification ancienne de l'importante famille des Composées, selon deux grands ensembles : Tubuliflores et Liguliflores, différant l'un de l'autre notamment, par la morphologie et l'organisation des fleurs au sein des capitules, type d'inflorescence caractéristique de cette famille, chacun de ces deux groupes rassemblant un certain nombre de tribus. Ce sont les grandes lignes de cette classification qui ont été adoptées par E. JAHANDIEZ et R. MAIRE dans leur

"Catalogue des plantes du Maroc" (1934) notant, en cette région, environ 80 genres parmi les Tubuliflores et 25 genres parmi les Liguliflores. Dès à présent la disproportion est évidente entre la représentation numérique des genres dans l'un et l'autre groupe. Lorsqu'on pénètre en territoire saharien la famille des Composées s'appauvrit considérablement puisque 36 genres seulement sont signalés par Ph. GUINET (1958) pour la région de Béni-Abbès.

Du point de vue palynologique, nombreux auteurs ont abordé de façon plus ou moins approfondie l'étude des pollens de cette famille, s'attachant en général à décrire un petit nombre de genres ou espèces plus particulièrement. Ce sont entre autres : G. ERDTMAN (1952, 1966), H. STRAKA (1952), G. WAGENITZ (1955), R.P. BODEHOUSE (1935-1959), M. VAN CAMPO (1957, 1958), G. PANELATTI (1960), E. STIX (1960), R. BONNEFILLE enfin (1965) qui s'est très précisément intéressée à l'étude plus exhaustive d'un certain nombre de genres et espèces présents dans la région de Béni-Abbès.

Parallèlement à la classification systématique, l'ensemble des palynologues ont reconnu parmi les pollens de Composées, deux types morphologiques correspondant respectivement aux Composées tubuliflores et aux Composées liguliflores, en en séparant toutefois, pour des raisons qui vont être précisées, les pollens du genre *Artemisia* et ceux de la tribu des Cynarées présentant un type pollinique quelque peu distinct de celui des autres Composées, bien qu'appartenant systématiquement au groupe des tubuliflores. Ainsi, dans les tableaux rassemblant les résultats des analyses de sédiments, apparaîtra la même distinction : Composées tubuliflores, Composées liguliflores et *Artemisia*.

Quelques précisions morphologiques doivent être apportées ici, justifiant la reconnaissance de ces catégories parmi les pollens eux-mêmes. L'ensemble des pollens des genres ou espèces appartenant à la famille des Composées sont tricolporés, présentant un tectum le plus souvent ornementé. C'est sur l'ornementation du tectum que peut être faite, précisément, la distinction entre les diverses catégories de pollens.

a) Les pollens des Composés tubuliflores ont un tectum continu, portant des épines régulièrement réparties à sa surface, épines dont la densité est plus ou moins grande, dont la taille et la forme sont variables. Cette ornementation de type échinulé existe chez les pollens de la grande majorité des genres. Toutefois, chez les pollens du genre *Artemisia* et chez ceux des Cynarées on observe une régression plus ou moins accentuée des épines qui, dans un très petit nombre de cas, disparaissent même totalement (certaines espèces du genre *Centaurea*, par exemple). C'est la raison pour laquelle cette modification du type pollinique propre aux Composées tubuliflores, conduit à séparer du groupe de ces dernières les pollens d'*Artemisia* notamment et à en faire un groupe bien individualisé.

L'étude qu'a faite R. BONNEFILLE (*loc. cit.*) des pollens de Composées sahariennes a permis de préciser la distinction, parmi ceux des Composées tubuliflores entre un type "*Bubonium*" (ectexine compacte sans collumelles différenciées) et un type "*Matricaria*" (ectexine à columelles individualisées).

b) Les pollens de Composées liguliflores possèdent par contre un tectum discontinu, affecté de perforations constituant un système de lacunes donnant à l'ectexine un aspect fenestré tout à fait caractéristique. Le tectum lui-même est orné d'épines nombreuses, souvent longues et aiguës. Aussi à côté des deux types précédemment nommés ("*Bubonium*" et "*Matricaria*"), R. BONNEFILLE différencie un type "*Launea*" que caractérise ce dernier système d'ornementation.

Une fois tracé ce bref aperçu des caractères morphologiques propres aux pollens des Composées, que permet-il de préciser quant aux pollens de cette famille, fossilisés dans les sédiments sahariens ? La question est complexe car un nombre extrêmement grand de genres et d'espèces se répartissent, quant à la morphologie de leur pollen, entre les types qui viennent d'être définis. Ces principaux types étant reconnus, on remarque une grande similitude entre les pollens de genres ou d'espèces différents, ce qui exclut la possibilité de préciser même une détermination générique. A cette

impossibilité échappent, nous l'avons vu, les pollens du genre *Artemisia* (et ceux des Cynarées) auxquels sera consacré un paragraphe spécial. D'autre part les pollens fossilisés sont le plus souvent déformés, repliés, voire même altérés et dans ce cas, seule la présence encrée visible des épines permet de les reconnaître comme des pollens de Composées. Il en résulte par conséquent, qu'au-delà d'une distinction entre pollens de Composées tubuliflores et pollens de Composées liguliflores, il ne semble guère de déterminations plus fines possibles. On pourrait tenter d'avancer quelque précision toutefois, en remarquant déjà que la majorité des pollens fossiles appartenant au groupe des tubuliflores, sont de petite taille (15-18 μ : dimensions évaluées sans que soient comprises les épines) et ne dépassent 20 μ que dans des cas exceptionnels (Pl. XX, figure 10, cf. *Atractylis*). Parmi les genres actuellement présents au Sahara et dont les pollens se situent dans ces limites de taille, se trouvent *Ifloga spicata*, *Cotula cinerea*. Il s'en rapproche également *Gnaphalium luteo-album*, cosmopolite et "franchement aquatique" (P. QUEZEL, 1965, p. 198). Mais on pourrait tout aussi bien comparer ces formes fossiles au pollen de *Chrysanthemum parthenium* par exemple (espèce française, absente d'Afrique du Nord), tant en raison de la taille que de la structure d'exine du pollen de cette espèce. En observant très précisément en immersion les petits pollens fossiles de 15 μ , comparativement aux plus petits pollens de Composées sahariennes que sont ceux d'*Ifloga spicata* (type pollinique "*Bubonium*"), nous ne sommes pas en mesure d'affirmer qu'il y ait parfaite similitude de structure ni d'ornementation du tectum. Par contre nous pensons que *Cotula cinerea* (= *Brocchia cinerea*) (type pollinique "*Matricaria*") est probablement représenté dans la microflore fossile et nous croyons pouvoir attribuer à cette espèce les pollens figurant sur la planche XVII, figures 14-15 et figures 16-17. Il s'agirait alors d'une Composée à présent strictement saharienne, liée à un milieu sableux. La présence d'*Asteriscus pygmaeus* (type pollinique "*Bubonium*", compte tenu de la taille de son pollen actuel (P = 18 μ , épines non comprises) et de son ornementation, n'est pas non plus exclue : c'est une plante présente au Sahara où elle est considérée comme une irradiation méditerranéenne.

Quant aux pollens fossiles de Composées liguliflores par contre, si nous recherchons une comparaison avec les pollens du même type, d'espèces actuellement présentes au Sahara, très peu nombreuses d'ailleurs, il semble qu'il s'agisse du genre *Launea* (du genre *Picris* ?) et peut-être de *Launea resedifolia*, compte tenu de la densité des épines à la surface du tectum (Pl. XVII, figures 18-19 et Pl. XVI, figures 14 et 16).

Toutefois, ces quelques réflexions paraissent de bien peu de poids, quand on sait la similitude si fréquente que nous évoquons entre les pollens de genres ou d'espèces différents, quand on sait également la représentation actuellement restreinte de la famille des Composées au Sahara et la façon dont déjà celle-ci s'épanouit numériquement en Afrique du Nord. Il faudrait, pour apporter quelques éléments permettant une détermination plus précise, dépasser largement la connaissance des pollens de Composées de la flore saharienne et étudier ceux d'un grand nombre d'espèces nord-africaines. Ceci nous amène à rester avec prudence dans le cadre, certes trop restreint, de la classification selon les types principaux habituellement reconnus : Composées tubuliflores et Composées liguliflores dont sera séparé le genre *Artemisia*. Le cas particulier des pollens de ce genre va maintenant être envisagé.

VII - LES POLLENS DU GENRE ARTEMISIA (COMPOSEE).

Les pollens des espèces actuelles de ce genre peuvent être définis comme des pollens tricolporés, trilobés en vue polaire et circulaires, sub-circulaires à elliptiques en vue méridienne. Par rapport à l'endexine peu épaisse, l'ectexine est très nettement individualisée, formée d'une couche collumellaire interne plus ou moins épaisse, tout à fait caractéristique. Un tectum est visible, mince, non structuré (? cf. E. STIX, 1960), orné chez un très grand nombre d'espèces, de minuscules épines considérées comme vestigiales eu égard à l'ornementation de type échinulé, développée chez la presque totalité des pollens de Composées. La régression des épines, chez les pollens de ce genre, leur confère un caractère anémophile s'opposant

au caractère entomophile des pollens à épines très développées.

En présence d'une variabilité accentuée, observée chez les pollens d'*Artemisia* fossilisés dans les sédiments sahariens, variabilité relative tant aux valeurs de P, E et du rapport P/E, qu'aux structures elles-mêmes (paerture, exine), s'est posée logiquement la question de l'éventuelle représentation, par leurs pollens, de plusieurs espèces d'*Artemisia*. La question s'est avérée d'autant plus intéressante que, d'une part, *Artemisia* n'est pas actuellement présente dans la flore du territoire saharien concerné par cette étude et que d'autre part, le nombre des espèces effectivement présentes dans l'ensemble du Sahara est relativement restreint. Trois espèces d'armoises seulement y sont rencontrées à l'état spontané :

- *Artemisia herba-alba* (non spécifiquement africaine : Espagne, Canaries, Afrique du Nord, Asie occidentale), plante steppique des Hauts-Plateaux, dont la limite méridionale reste encore éloignée de 100 à 120 km. au Nord de Béni-Abbès et que l'on ne retrouve qu'au-dessus de 1400 m. au Sahara central.

- *Artemisia judaïca* ssp. *sahariensis*, nettement saharienne, présente dans le piedmont atlasique, mais ne dépassant pas vers le Sud la limite approximative atteinte par l'espèce précédente (Oglat Beraber, Oued Menouar), puis retrouvée également au Sahara central.

- *Artemisia campestris* ssp. *glutinosa* (vaste répartition en Europe méridionale, Afrique du Nord et Asie occidentale), plante des Hauts-Plateaux, rare en région présaharienne, ne réapparaissant qu'en altitude au Sahara central.

En premier lieu s'imposait une étude morphologique comparative des pollens de ces trois espèces, étude que nous avons toutefois élargie à ceux d'autres espèces dont l'aire géographique est plus ou moins étendue : *Artemisia absinthium* (Europe, Algérie, Asie occidentale et centrale), *Artemisia monosperma* (Égypte et Asie occidentale), *Artemisia verlotorum* et *Artemisia vulgaris* (plurirégionales), puis trois espèces propres à l'Afrique du Nord, *Artemisia atlantica* (Maroc, Algérie, Tunisie), *Artemisia mesatlantica*

et *Artemisia Flahaultii* (Maroc), enfin *Artemisia variabilis* dont le nom spécifique, d'après E. JAHANDIEZ et R. MAIRE (*loc. cit.*) est donné comme un synonyme de la ssp. *glutinosa* d'*Artemisia campestris*. En aucun autre document n'est mentionnée l'existence de cette espèce dont le pollen étudié, originaire du Maroc, présente un intérêt tout particulier dans le cadre de cette étude, nous y reviendrons.

Rares sont les données de morphologie pollinique relatives au genre *Artemisia*. Quelques auteurs doivent être cités : W. LUDI (1950), H. STRAKA (1952), R.P. WODEHOUSE (1959), E. STIX (*loc. cit.*). C'est ainsi, principalement, de l'observation des pollens des espèces actuelles sus-citées, qu'ont été tirés les éléments essentiels de comparaison permettant de juger des conclusions possibles au niveau de l'étude des pollens fossiles. Il ressort finalement de l'examen des pollens actuels, qu'une très nette variation des caractères morphologiques se manifeste non seulement entre des échantillons d'une même espèce, d'origine différente, mais également au sein d'un même échantillon d'une même espèce. Il serait sans intérêt de rapporter ici les observations faites précisément sur les pollens de chaque espèce envisagée. Il suffit de noter que de manière à peu près générale, cette variabilité est manifeste. Elle affecte à la fois la taille des pollens (valeurs de P et de E), leur forme (valeur du rapport P/E), l'épaisseur et la structure de l'exine, principalement de l'ectexine (épaisseur relative de la couche collumellaire et du tectum), l'aspect du système apertural. Ce dernier, originellement bien vu par H. STRAKA (1952) comme formé d'une ecto-aperture constrictée à l'équateur et d'une endoaperture transversale, en forme de "8" allongé dans le sens de l'équateur, conserve rarement cette figure et prend des aspects variés, après déchirement des deux lèvres du sillon au niveau de la constriction équatoriale.

Chez un grand nombre des espèces envisagées (sauf *A. variabilis* et les deux espèces plurirégionales) et pour l'ensemble des pollens observés, notons les valeurs moyennes de P (22-23 μ), de E (20-22 μ) et de l'épaisseur de l'exine (3-4 μ). La taille des pollens d'*Artemisia herba-alba* est légèrement supérieure de quelques 2 à 3 μ selon les deux dimensions.

A titre d'exemple de variabilité, remarquons chez cette dernière espèce le caractère nettement bréviaxe de tous les pollens issus de l'un des échantillons floraux analysés et par contre, provenant d'un autre échantillon, un ensemble de pollens regroupant des éléments équiaxes, sub-longiaxes et longiaxes. Cette variation de l'équiaxie à la longiaxie a été observée chez le plus grand nombre d'espèces citées. Chez *Artemisia herba-alba* également, on a pu remarquer au niveau de l'ectexine, des variations d'épaisseur de la couche collumellaire de 1 à 3 μ , ce qui évidemment donne, en vue polaire comme en vue méridienne, des coupes optiques d'aspects très différents. Cela s'est trouvé vérifié chez d'autres espèces et, de façon très comparable, chez *Artemisia Flahaultii* notamment. De même, des différences frappantes ont été observées au niveau de l'épaisseur du tectum, entre des pollens d'*Artemisia campestris* ssp. *glutinosa*, issus de deux échantillons floraux : dans un premier cas une couche collumellaire d'épaisseur égale à celle de l'endexine et du tectum, dans un second cas une couche de collumelles très courtes située entre une endexine et un tectum très épais. Un caractère reste constant toutefois et reconnaissable sur l'ensemble des pollens des espèces citées : c'est la présence des épines vestigiales, perceptibles bien que difficilement, en L-O analyse, mais plus apparentes en coupe optique alors qu'elles donnent au bord externe du tectum l'aspect d'une ligne nettement ondulée. Une tentative de comparaison de ce dernier caractère a été faite chez les pollens des différentes espèces étudiées : nous avons pu tout juste en tirer une distinction possible entre les pollens d'*Artemisia judaica* et ceux des autres espèces. Chez *A. judaica* il semble que le bord externe du tectum ne se présente pas comme une ligne ondulée régulière, mais au contraire très "hachée" et souvent interrompue, comme si le tectum n'était pas continu, figure due, c'est possible, au fait que les épines seraient plus fines, plus longues et aciculaires, assez rapprochées enfin.

Nous nous limiterons à ces quelques remarques qui suffisent à souligner la quasi-impossibilité de définir, par des caractères morphologiques stables, le pollen de telle ou telle des espèces actuelles étudiées. Ceci laisse présumer du résultat obtenu à partir de l'examen des pollens fossiles.

Dans l'ensemble de ces derniers, souvent assez abondamment présents dans les sédiments sahariens, la même variabilité dont quelques exemples vont être donnés apparaît, quant à la taille et à la forme des pollens. Ceux-ci peuvent être équiaxes ($P = E = 19 \mu$) (Pl. XVI, figures 3-4), sub-équiaxes ($P = 19 \mu$, $E = 17 \mu$) (Pl. XVI, figure 19) ou ($P = 23 \mu$) (Pl. XXI, figures 7-8), ou encore nettement longiaxes ($P = 23 \mu$, $E = 18 \mu$). Structure de l'exine et aspect du système apertural sont tout aussi variables. Il faut souligner comme une observation quasi-permanente, la disparition des épines, due très probablement à une usure secondaire à la fossilisation. Ceci est tout à fait caractéristique et apparaît sur les photographies précédemment notées, exception faite de la figure 19, Pl. XVI, qui montre l'un des rarissimes pollens fossiles d'*Artemisia* sur lesquels des traces d'épines ont été retrouvées.

Ce rappel aussi bref que possible de la variabilité des caractères morphologiques, observée tant sur les pollens des espèces actuelles que sur les pollens fossiles, justifie l'impossibilité dans laquelle nous nous sommes trouvée de discerner avec certitude et précision l'existence, dans le passé, de plusieurs espèces déterminables du genre *Artemisia*. Cependant nous pensons rester dans la vérité en précisant quelque peu notre pensée, présumant que :

a) *Artemisia herba-alba* n'est sans doute pas la seule espèce représentée dans la microflore pollinique : en effet, la taille d'un certain nombre de pollens fossiles, s'éloignant très largement de celle des pollens actuels de cette dernière espèce, permet de le supposer. Il est alors intéressant de pouvoir admettre que des espèces, maintenant nettement nord-africaines, aient pénétré au Néogène ou au Quaternaire dans l'actuel territoire désertique étudié, accompagnées vraisemblablement d'*Artemisia herba-alba* elle-même, dont nous avons noté ici le caractère septentrional par rapport à la région prospectée.

b) il semble peu probable, après avoir évoqué la morphologie un peu particulière de leur tectum, que des pollens d'*Artemisia judaïca* ssp. *sahariensis* soient présents parmi l'ensemble des pollens d'*Artemisia*

fossilisés. Ceci ne manque pas d'intérêt puisque cette dernière espèce est la seule qui soit spécifiquement saharienne.

Nous tiendrons compte de ces dernières remarques en considérant dans nos analyses le groupe des pollens d'*Artemisia* au sens large, comme un groupe non spécifiquement homogène et à caractère nord-africain nettement accentué.

Il reste alors à préciser l'existence d'un ensemble de pollens d'un type quelque peu énigmatique que nous avons pris le parti de séparer, pour des raisons d'ordre morphologique, des pollens d'*Artemisia* au sens large. Jusqu'à une époque récente nous avons en effet rattaché les pollens de ce type au groupe des "indéterminés", bien qu'il soit évident qu'ils montrent au niveau de la structure de l'exine comme au niveau de l'aperture des caractères de pollens d'*Artemisia*. Leur particularité est de présenter une concavité méridienne au milieu des mesocolpium. Ces concavités ne sont en rien analogues aux pseudo-sillons des pollens de Combrétacées ou de Boraginacées par exemple. Le problème posé par ces pollens rencontrés de façon à peu près constante, mais en petit nombre dans la plupart des analyses, s'est montré particulièrement important lorsque fut faite l'analyse de l'un des échantillons d'âge néogène, dans laquelle ce type de pollen figure selon une représentation notable. Au cours de cette analyse il est apparu de façon tout à fait frappante qu'il existait à côté de ce type pollinique à concavités très accentuées, des pollens à concavités moins accentuées, paraissant intermédiaires entre les précédents et les pollens pouvant être déterminés comme appartenant sûrement au genre *Artemisia*. C'est pourquoi dès ce moment, l'existence de ces formes intermédiaires, conjointement aux deux autres types, nous a beaucoup engagée à orienter leur détermination vers le genre *Artemisia*, vers une espèce d'*Artemisia* dont le pollen serait peut-être encore méconnu, ou bien vers un type correspondant à une variation morphologique, à une sorte de mutation du type pollinique *Artemisia* sous l'effet d'un facteur quelconque, d'un facteur physique plus probablement. Nous avons retenu de cette analyse deux autres observations, auxquelles nous n'avons attaché toutefois qu'une importance relative puisqu'elles ne se sont pas renouvelées :

l'un de ces pollens considéré comme une "forme intermédiaire" a montré, en coupe équatoriale, deux lobes bien arrondis, le troisième étant légèrement concave; également sur un très petit nombre de ces pollens énigmatiques nous pensons avoir reconnu la présence d'épines vestigiales.

Que l'on n'ait su si l'on devait considérer ces derniers pollens comme représentant une espèce possible du genre *Artemisia*, ou comme des individus traduisant une anomalie au niveau du type pollinique en général, aucune remarque de cet ordre n'avait encore été faite à propos des espèces actuelles observées. C'est l'examen très tardif d'un montage de pollens d'*Artemisia variabilis* qui est venu jeter un premier éclairage sur le problème posé, éclairage qui n'est que partiel car, si l'observation récemment intervenue confirme bien que le pollen en question appartient au genre *Artemisia*, la question de la détermination spécifique reste entière. En effet, dans le montage des pollens d'*Artemisia variabilis* dont on a vu que le nom d'espèce est considéré par E. JAHANDIEZ et R. MAIRE comme synonyme d'*Artemisia campestris* ssp. *glutinosa*, les pollens de petite dimension ($P = 15 \mu$ environ), équiauxes, sub-équiauxes à longiauxes présentent tous des mésocolpium concaves, ce qui pourrait *a priori* apparaître comme un caractère spécifique. Toutefois une double réserve s'avère nécessaire :

- d'une part on peut se demander si les pollens observés dans le montage ont parfaitement acquis leur maturité; en effet, les lames de référence montrent une grande quantité de fragments de loges d'anthères, dans lesquels les pollens sont encore réunis de façon très serrée.

- d'autre part une information nouvelle vient de nous amener à remettre en question ce problème auquel nous pensions avoir trouvé des éléments de solution. M. GUINET (novembre 1970) nous communique qu'un très récent montage de pollens d'*Artemisia variabilis* (originaires d'Italie) ne confirme pas l'observation faite par nous-même sur l'échantillon marocain : les mésocolpium des pollens ne présentent pas de concavité.

Une autre remarque s'impose : si la synonymie proposée par E. JAHANDIEZ et R. MAIRE est réelle, comment peut-on justifier la différence de

taille entre les pollens observés dans les montages de l'une et l'autre espèces ($P = 22-23 \mu$ chez *Artemisia campestris* var. *glutinosa*), si ce n'est peut-être parce que les pollens d'*Artemisia variabilis* sont encore immatures. D'autre part les pollens d'*Artemisia campestris*, pas plus que ceux d'*Artemisia variabilis* observés tout récemment par M. GUINET, n'ont montré de concavités au niveau des mesocolpium. Que doit-on alors envisager ? Que l'on ait affaire effectivement à une même espèce marquée de synonymie et que la présence de concavités au niveau des mesocolpium, remarquable dans l'un des échantillons, n'est que le fait d'une anomalie ou du caractère immature, également manifesté, peut-être par la petite taille des pollens ? ou bien que l'on est en réalité, en présence d'espèces distinctes (*A. campestris* et *A. variabilis*) ou de variétés distinctes d'une même espèce (*A. variabilis*, originaire du Maroc d'une part et d'Italie d'autre part), distinction peut-être non discernable au niveau de la morphologie des plantes mais qui le deviendrait au niveau de celle de leurs pollens. Notre incertitude ainsi que la difficulté de comprendre la signification de ces observations, se trouvent encore accrues puisque, jusqu'à présent, nous n'avons pas observé de concavités des mesocolpium chez les pollens d'autres espèces dont les montages présentent également des individus ayant, de toute évidence, à peine atteint leur maturité, alors que, conjointement à l'observation qu'il vient de nous communiquer à propos d'*Artemisia variabilis*, M. GUINET nous dit avoir constaté que les pollens immatures d'*Artemisia eriocephala* (originaire d'Abyssinie) présentent des mesocolpium concaves.

Enfin, lorsque ce type pollinique a été rencontré à l'état fossile, ce caractère morphologique particulier affecte des pollens de tailles extrêmement diverses. C'est dire la confusion dans laquelle nous nous trouvons quant à la compréhension de la signification de ce groupe de pollens se distinguant du type pollinique habituel caractérisant le genre *Artemisia*. Nous nous sommes posée le problème de l'opportunité de cette discussion et surtout de la distinction dans nos analyses de cette catégorie de pollens d'*Artemisia* d'un type particulier, dans la mesure où ce dernier ne serait que le fait d'une anomalie morphologique, ce que nous ne pouvons exclure

a priori. Par contre, comme vient de le formuler M. GUINET, il est possible que cette distinction relève d'un problème d'ordre taxonomique dont la solution dépasse le cadre de la morphologie pollinique et dépende alors de botanistes systématiciens. S'il devait ultérieurement apparaître que cette distinction d'un type pollinique particulier repose sûrement sur des bases taxonomiques, il serait regrettable de n'avoir pas conservé dans cette étude son individualité à cette catégorie de pollens que nous désignerons sous la dénomination : "*Artemisia* (pollens à mesocolpium concaves)".

VIII - LES POLLENS DE LA FAMILLE DES GRAMINEES

La fréquence des pollens représentant la famille des Graminées dans le plus grand nombre des analyses de sédiments sahariens appelle, à son tour, quelque commentaire. Toutefois, tandis qu'il fut possible de tenter une étude des pollens des genres ou familles précédents et de discuter un certain nombre d'observations, seules des données tout à fait succinctes pourront être apportées ici.

Un type pollinique très simple caractérise cette famille (cf. pollen fossile : Pl. XIII, figure 15) : un pollen de Graminée est plus ou moins sphérique ou ovoïde et présente un unique pore entouré d'un annulus. Le pore lui-même porte un opercule qui ne résiste pas aux techniques de préparation des échantillons de pollens actuels. De nombreuses observations ont été faites sur les pollens de Graminées. Il faut citer, entre autres, celles de H.J. BEUG (1961), relatives à un grand nombre de Graminées européennes, sauvages ou cultivées. Il apparaît à travers cette publication que c'est entre 20 et 70 μ que se situe la taille de la majorité de ces pollens, que les dimensions mêmes du pollen, de son pore et de l'annulus ne semblent pas des caractères stables au niveau spécifique, et qu'une véritable image de la structure de l'exine ne peut apparaître qu'à la faveur d'une observation de la surface du pollen en contraste de phase. Une interprétation de cette dernière a été donnée par J.R. ROWLEY (1960) à partir d'études faites au microscope électronique.

Quant aux Graminées nord-africaines actuelles ou plus particulièrement sahariennes, outre la description de pollens d'un très petit nombre d'espèces, due à M. VAN CAMPO (1960, Pl. 97, 98, 99), des observations non publiées ont été faites par Ph. GUINET (communication orale, 1969) qui a tenté de déterminer la taille des pollens d'une soixantaine d'espèces dont le diamètre maximum se situe entre 20 et 60 μ , avec une majorité de représentation entre 25 et 40 μ . A partir de l'étude que nous avons faite nous-même d'un certain nombre de références de même origine, il est possible de conclure à une certaine variabilité de la taille du pollen au sein de l'espèce, moins accentuée toutefois qu'il semble apparaître chez H.J. BEUG.

Il est tout à fait évident qu'une étude à la fois morphologique et statistique de toutes les espèces à répartition actuelle nord-africaine ou saharienne au moins, ainsi qu'une analyse de la structure fine de l'exine en contraste de phase, serait indispensable pour que devienne éventuellement possible une tentative de classification des pollens fossiles, en un certain nombre de types que l'on pourrait peut-être rapprocher de genres actuels.

En présence des pollens de cette famille, fossilisés dans les sédiments sahariens, nous pouvons seulement dire que la valeur moyenne du diamètre la plus couramment mesurée est de l'ordre de 30-35 μ . Figurant sur la planche XVII (figure 8), le pollen de 45 μ est considéré comme assez exceptionnel. Plus exceptionnels encore sont deux pollens de 60-65 μ dont nous devrons parler ultérieurement (Pl. XVII, figures 2-3 et Pl. XXI, figure 21). On sait l'importance que prend, dans la flore saharienne actuelle, la famille des Graminées parmi les associations floristiques liées aux milieux sableux (faciès dunaires ou pseudo-steppes des lits d'oueds sablonneux) (cf. chapitre III). Mais un petit nombre de Graminées sont également hygrophiles, caractérisant des milieux humides ("gueltas", lits d'oueds fonctionnels). Si dans l'état présent des observations faites sur les pollens actuels de genres adaptés à ces divers milieux, il est pratiquement impossible de définir les critères d'une diagnose, cela est d'autant plus vrai quand il s'agit de pollens fossiles pour lesquels, au-delà de la famille, il ne peut vraiment être envisagé aucune détermination.

Ainsi sommes-nous dans l'incapacité de conclure quant à la signification écologique de la représentation des Graminées dans la microflore pollinique saharienne. Celles-ci peuvent tout aussi bien traduire des conditions arides, comparables à celles actuelles, ou semi-arides, analogues à celles des régions plus méditerranéennes, ou au contraire plus nettement méridionales. Pour certaines enfin, elles peuvent correspondre à des associations locales liées à des milieux humides.

IX - LES POLLENS DE LA FAMILLE DES CRUCIFERES.

Si faible soit-il, le nombre des pollens de Crucifères, souvent présents dans les sédiments sahariens, nécessite que soit précisée l'impossibilité dans laquelle nous sommes actuellement encore, d'envisager une détermination qui dépasse le niveau de la famille. Le type pollinique qui caractérise cette dernière, est un pollen tricolpé, trilobé en vue polaire et bréviaxe, équiaxe ou plus rarement légèrement longiaxe, en vue méridienne (aspect familial d'un pollen fossile de Crucifère : Pl. XVII, figures 6, 7 et 11). Chez les pollens d'une vingtaine d'espèces appartenant actuellement à la flore saharienne, nous avons observé que la valeur du plus grand axe varie entre 18 et 30 μ . Toutefois, il a été remarqué dans quelques rares cas, des variations de P et de E chez les pollens d'une même espèce. L'exine est de type réticulé, la grandeur des mailles, les proportions relatives "endexine-ectexine" variant de façon très nette d'une espèce à l'autre. C'est pourquoi, conjointement au critère "taille" qui reste en général valable semble-t-il, à de rares exceptions près, ces caractères devraient permettre d'entreprendre une étude morphologique précise des espèces méditerranéennes, nord-africaines et sahariennes. Peut-être pourrait-on alors établir les grandes lignes d'une clef de détermination qui apporterait la possibilité de comparer à ces espèces, les pollens fossiles contenus dans les sédiments sahariens.

Ce travail préliminaire de morphologie n'existant pas, il eut été vain d'essayer de rattacher les pollens fossiles à ceux de genres actuels, dont nous possédons des références en nombre encore insuffisant pour tenter des comparaisons valables.

X - LES POLLENS DU GENRE *PLANTAGO*

De temps à autre au cours des analyses, la présence de pollens fossiles du genre *Plantago* sera mise en évidence. Il sera seulement précisé ici que ce genre est sûrement représenté par plusieurs de ses espèces, séparables par la taille de leurs pollens, mais principalement par la structure de leur exine et le nombre de leurs pores. Le pollen des espèces du genre *Plantago* est sphérique, périporé avec pores operculés et présente une ectexine tectée. L'épaisseur irrégulière du tectum donne à la surface du pollen un aspect plus ou moins ondulé ou verruqueux, très variable suivant les espèces (quelques exemples : Pl. XV, figures 21-22 et Pl. XVIII, figure 8). Au Sahara actuellement, parmi les 7 espèces représentées, une seule est strictement saharienne, une seconde est endémique du Sud-marocain, les autres enfin sont méditerranéennes. Le genre *Plantago* est représenté en Afrique du Nord par de très nombreuses espèces. Il semble que les quelques pollens fossiles rencontrés dans les analyses traduisent une diversité spécifique assez nette.

XI - LES POLLENS DE LA FAMILLE DES OMBELLIFERES.

Il eut été particulièrement intéressant d'entreprendre une étude approfondie des pollens d'Ombellifères rencontrés, bien qu'en petit nombre, dans les analyses de sédiments. En effet, la connaissance des pollens des rares espèces actuelles de cette famille, adaptées au milieu désertique, a permis dès le début de nos recherches d'exclure que les pollens fossiles observés puissent leur correspondre. Il devint alors évident que ces derniers représentaient probablement des formes actuellement localisées en régions plus septentrionales, en Afrique du Nord notamment, peut-être même hors d'Afrique, en territoire méditerranéen. Nous avons tenté un effort de détermination qui dépasse le niveau de la famille. Nous nous sommes basée pour cela, sur l'importante étude morphologique des pollens d'Ombellifères méditerranéennes qu'a faite M. Th. CERCEAU-LARRIVAL (1959, 1962, 1965) et

également sur les lames de référence assez nombreuses dont nous avons pu disposer au Laboratoire de Palynologie de la Faculté des Sciences de Montpellier. Par ailleurs quelques-uns des pollens fossiles ont été soumis à Mme CERCEAU-LARRIVAL elle-même qui, avec un très vif intérêt, a pu guider nos recherches vers un certain nombre de genres. Il s'est avéré toutefois, malgré quelques résultats positifs trop rares, malgré la relative abondance des éléments actuels de référence, que cet effort de détermination nécessiterait un travail de longue haleine qui déjà, révélait des confusions possibles entre des genres différents et qui également, manifestait l'insuffisance même des documents de comparaison : combien de pollens en effet avons-nous observé, d'espèces des genres *Torilis* ou *Caucalis* sans qu'aucun d'eux ne donne un minimum de certitude, en présence d'un pollen fossile, d'avoir au moins atteint la connaissance du genre. Devant l'ampleur que semblait pouvoir prendre cette étude, nous avons eu conscience qu'elle était irréalisable dans le temps qu'il était possible de lui consacrer et que d'autre part, ce travail aurait été grandement facilité s'il avait été l'oeuvre d'un spécialiste des pollens de cette famille. A regret, nous avons donc pris le parti de limiter notre propre part dans cette recherche, sachant que le fait d'avoir mis en évidence la présence, dans la microflore fossile, de pollens d'Ombellifères appartenant à des espèces à caractère méditerranéen, étrangères au territoire désertique actuel concerné, était déjà un point positif et la conclusion finalement essentielle, dans l'immédiat, de l'étude des pollens de cette famille. Un aperçu de la diversité des formes polliniques fossiles que rassemble cette dernière, est donné par les quelques photographies présentées sur les planches suivantes : Pl. XI, figures 22 à 24 et 25 à 28, Pl. XIV, figures 10-11 et 12-13, Pl. XVIII, figure 12, Pl. XIX, figures 16-17, Pl. XXI, figure 18.

XII' - LES POLLENS DE LA FAMILLE DES CYPERACEES.

Une très brève allusion sera faite aux pollens de cette famille qui, au Sahara actuellement regroupe des espèces de lieux humides à caractère cosmopolite, méditerranéen, tropical, à côté desquelles figure une espèce

typiquement saharienne, inféodée aux milieux sableux, aux bordures d'ergs en particulier : *Cyperus conglomeratus*. Il importait donc dans les analyses d'essayer de discerner la présence de cette espèce signifiant des conditions écologiques particulières.

Les pollens de Cypéracées sont hétéropolaires, longiaxes le plus généralement, approximativement pyriformes. Ils portent latéralement notamment, des poroïdes, pseudo-apertures plus ou moins circulaires ou allongées suivant l'axe du pollen, qui correspondent à des zones dont la structure d'exine est seulement modifiée et plus grossière. La forme de ces poroïdes est assez nettement définie et caractéristique chez *Cyperus conglomeratus*. C'est principalement d'après la taille des pollens de Cypéracées (chez *C. conglomeratus*, $P = 30-35 \mu$) et la forme des poroïdes que nous avons essayé de séparer l'espèce saharienne psammophile, d'éventuelles autres espèces signifiant au contraire l'existence de milieux humides. Toutes les fois où il a été possible de distinguer *C. conglomeratus*, cela a été indiqué. Lorsque l'état de conservation du pollen nous a laissée dans l'impossibilité d'opter, la seule représentation de la famille a été notée. La présence de pollens de Cypéracées aquatiques est par contre apparue dans un cas très particulier, au Quaternaire récent, nous le verrons.

XIII - LES POLLENS DU GENRE ACACIA (MIMOSACEE).

A la famille des Mimosacées (les Légumineuses groupant trois familles : Mimosacées, Césalpiniciacées, Papilionacées), représentée par un nombre considérable d'espèces, appartient la tribu des Acaciées qui rassemble elle-même plusieurs genres, parmi lesquels le genre *Acacia*. Au nombre des publications relatives à la morphologie des pollens d'*Acacia*, devaient être citées jusqu'à une date récente, celles de O.H. SELLING (1947), J.A. COETZEE (1955), E.M. VAN ZINDEREN BAKKER (1959), Ph. GUINET (1964) et (1968, Pl. 163 à 166). Une très importante étude de la morphologie pollinique chez les Mimosacées vient d'être publiée par Ph. GUINET (1969). Dans cet ouvrage, une large part est accordée au genre *Acacia* dont les pollens, pour l'auteur

doivent être classés en trois groupes déjà bien individualisés par lui-même en 1964. Nous nous limiterons ici à considérer le groupe III, dit "groupe des *Gummiiferae*" ou des "acacias gommiers", puisque s'y rapportent la totalité des pollens fossiles de ce genre, déterminés dans les sédiments sahariens. Environ 95 espèces sont rassemblées dans ce groupe III : 86 d'entre elles ont été étudiées du point de vue pollinique par Ph. GUINET qui les caractérise de la façon suivante (1969, pp. 117-118) :

"la presque totalité des espèces possède des polyades formées de 16 monades"

"les polyades sont aplaties vues de profil"

"l'ectexine est toujours structurée... c'est-à-dire que les columelles sont bien différenciées et donc toujours bien distinctes"

"le tectum peut être perforé ou peut être entier... Il est le plus souvent lisse".

"les pores sont toujours au nombre de trois aux angles des faces distales des monades centrales. Ce caractère est le plus important... le seul qui permet de reconnaître infailliblement l'appartenance d'une espèce au "groupe des *Gummiiferae*".

"les sillons sont le plus souvent au nombre de trois", les pollens sont "syncolpés, c'est-à-dire à sillons soudés vers les pôles".

Forme pollinique du type "polyade", à pollens syncolpés dont les pores sont disposés aux angles des faces distales des monades : tels sont les caractères visibles sur quelques-uns des pollens fossiles sur les planches photographiques hors-texte : (Pl. XI, figures 20-21; Pl. XIII, figure 11, monade en haut, à droite; Pl. XV, figures 16-17; Pl. XVI, figure 17, monade en bas à gauche).

Il faut ajouter qu'actuellement sont présentes au Sahara quatre espèces dont trois appartenant à ce groupe, toutes étant considérées comme des témoins d'influences tropicales ayant atteint, dans le passé, le piedmont atlasique. Les espèces dont les polyades entrent dans le groupe de "*Gummiiferae*"

sont : *Acacia raddiana* (*Acacia tortilis* ssp. *raddiana*), le "talha" de la pseudo-steppe à *Acacia-Panicum* (Ph. GUINET, 1954, 1958), *Acacia gummifera* du Sud-marocain, ces deux espèces étant si bien inféodées au milieu désertique qu'elles sont presque considérées comme sahariennes, *Acacia seyal* enfin. Cette dernière espèce à caractère nettement sub-tropical-sahélien est venue jusqu'au Maroc à la faveur des influences océaniques qui marquent le Sahara tout à fait occidental.

Nous avons dit précédemment pouvoir rapporter tous les pollens fossiles à ce groupe III. Pour un certain nombre d'entre eux il est évident qu'il s'agit de pollens d'*Acacia raddiana* (détermination précisée par M. GUINET). Quant aux autres polyades "indéterminables" ou laissant dans le doute, elles ont été signalées comme appartenant au "groupe des *Gummiferae*", ou plus simplement des "gommiers". Quelques remarques relatives à un très petit nombre de ces pollens seront faites au fur et à mesure de l'analyse. Quant à la quatrième espèce étrangère au groupe III, *Acacia albida* (= *Faidherbia albida*), elle est représentée au Sahara occidental, dans l'Adrar et le Zemmour. Les particularités du type pollinique la caractérisant permettent d'affirmer qu'elle n'a pas été rencontrée à l'état fossile.

XIV - CONCLUSION.

Il ne s'impose pas de conclusion générale au terme de cette longue étude morphologique. Rappelons qu'ont été considérés ici les seuls familles ou genres dont la présence, ou l'importance de leur représentation dans la microflore pollinique, nécessitaient que les problèmes soulevés par leur détermination soient posés avant que soient abordées les analyses. Pour chacun d'entre eux ont été mises en évidence les difficultés afférentes à l'étude de leurs pollens (difficultés liées à des problèmes d'ordre morphologique ou au mauvais état de conservation des fossiles. Dans certains cas il s'est avéré possible d'envisager quelques déterminations relativement précises. Dans d'autres cas, il est évident que l'on ne peut dépasser le stade de la famille

ou du genre. Quoiqu'il en soit, un certain nombre d'éléments intervenus au cours de la discussion engagée à propos de certaines de ces déterminations, ont permis une réflexion qui eut été impossible hors du contexte de ce chapitre, et qui devrait apporter un éclairage au moment de l'interprétation des analyses.

CHAPITRE X

REFLEXIONS CRITIQUES PRELIMINAIRES A L'ETUDE PALYNOLOGIQUE STRATIGRAPHIQUE.

Dans le chapitre VII, nous avons envisagé la nécessité de présenter un aperçu de la microflore pollinique que rassembleront l'ensemble de nos analyses. Nous avons insisté sur la seule valeur qualitative que devait recouvrir cette liste, en présence de laquelle on ne peut échapper à un certain étonnement eu égard à sa composition. Parmi les nombreuses familles, genres ou espèces cités, ont été déterminées des catégories d'éléments regroupant des essences à caractère tropical-sub-tropical, tempéré, méditerranéen au sens plus ou moins large, ou nettement désertique. Cette juxtaposition de taxons, hors de toute considération d'ordre numérique, laisse déjà présumer des difficultés en présence desquelles nous allons nous trouver, lorsque nous serons amenée à reconnaître dans telle ou telle de nos analyses, la coexistence de pollens d'espèces présentant, dans la nature actuelle, des exigences biologiques extrêmement différentes, voire même opposées.

Aborder d'emblée l'étude palynologique stratigraphique sans nous être auparavant quelque peu penchée sur ce problème nous a paru courir le risque d'être gênée, dès les premières analyses, dans nos moyens d'expression de leurs résultats et dans l'interprétation des éléments en présence. Il n'est pas question ici de discuter de façon prématurée d'associations fictives, démarche qui ne serait ni logique, ni scientifique : nous devons attendre d'être en possession des faits palynologiques que nous découvrirons au fur et à mesure de l'étude chronologique. Cependant il est possible semble-t-il, de proposer, comme une démarche critique préliminaire aux analyses, quelques éléments de réflexion suggérés par un petit nombre d'entre elles, examen critique qui, dès à présent, éveillera notre attention à différentes questions,

celle précisément du caractère autochtone ou éventuellement allochtone d'une fraction de la flore pollinique représentant des espèces actuellement étrangères à la région étudiée. Nous ferons apparaître également un problème qui nous semble capital lorsque l'on traite de sédiments pauvres issus de régions arides : celui de l'inégalité de dispersion de la flore pollinique dans un niveau stratigraphique donné, même lorsque la sédimentation fut homogène. Nous verrons alors quelles en sont les conséquences au niveau de l'étude palynologique et quelles conclusions on peut en tirer. Puis, au risque de dérouter peut-être quelque peu le lecteur non palynologue, nous n'hésiterons pas à étayer notre analyse critique d'observations issues de l'étude de sédiments considérés comme actuels :

- un échantillon de boue déposée lors d'une crue récente dans le lit mineur de l'oued Saoura, échantillon prélevé légèrement en aval de Béni-Abbès.

- un prélèvement de poussière atmosphérique piégée à proximité de Béni-Abbès également.

A - EXAMEN CRITIQUE D'ANALYSES DE SEDIMENTS QUATERNAIRES.

Trois analyses seront ici envisagées. Elles ont été choisies pour l'intérêt de la composition de leur microflore pollinique dont l'examen posera le problème du caractère autochtone ou allochtone d'un certain nombre de pollens déterminés. L'une d'elles mettra plus particulièrement en évidence la question, précédemment évoquée, de la répartition très irrégulière de la flore pollinique, au sein même d'un sédiment homogène, fait apparu à la faveur d'analyses d'échantillons prélevés en plusieurs points, dans des limites restreintes cependant. Ces analyses sont relatives aux sédiments suivants :

- I - Le ciment du conglomérat d'âge aïdien (Quaternaire ancien) du Foug Marouga, en aval de Kerzaz.

- II - Le niveau calcaréo-sableux à Diatomées auquel correspond le prélèvement 9, effectué dans la série stratigraphique d'âge saourien de la

terrasse d'El Ouata (Quaternaire récent), dans la vallée de la Saoura.

III - Le niveau essentiellement calcaire dénommé "*rhassoul*", intercalé dans la série sédimentaire d'âge aïdien (Quaternaire ancien), formant les buttes les plus élevées du golfe de Mazzer, au lieu-dit Hassi Ali Bel Hadj el Aïd.

I - LE CIMENT DU CONGLOMERAT D'AGE AIDIEN (QUATERNAIRE ANCIEN)
DU FOUM MAROUGA (cf. Chapitre XII)

Dans le cadre de l'examen critique envisagé il convient de limiter nos remarques aux composantes les plus significatives ou les plus abondantes de la microflore pollinique qui rassemble, pour l'ensemble de l'analyse, le nombre tout à fait satisfaisant de 448 pollens.

Les "éléments" qui retiennent notre intérêt sont les suivants, le nombre des pollens les représentant étant précisé, ainsi que, dans la mesure du possible, le pourcentage de ces derniers par rapport à l'ensemble de la flore pollinique :

- les éléments à caractère tropical-subtropical : 10 pollens (2,2%)

<i>Acacia</i> (dont <i>A. : raddiana</i>)	8
<i>Hymenocardia</i> (Euphorbiacées)	1
Combrétacées : <i>cf. Combretum</i>	1

- les éléments à caractère méditerranéen *sensu-stricto*, arborescents ou arbustifs : 19 pollens (4,2%)

<i>Cedrus</i> (espèce indéterminable)	1
<i>Pinus</i> type " <i>laricio</i> "	3
<i>Pinus cf. halepensis</i>	1
<i>Quercus</i> type " <i>ilex</i> "	7
<i>Olea cf. europea</i>	5
<i>Pistacia cf. atlantica</i>	1
<i>Erica arborea</i>	1

- les éléments à caractère désertique-sub-méditerranéen-méditerranéen : dans cette catégorie sont groupés quelques familles, genres ou espèces parmi lesquels nous remarquons plus particulièrement :

<i>Ziziphus lotus</i> (Rhamnaceae)	4	
<i>Artemisia</i> (plusieurs espèces ?)	43	(9%)
Graminées	38	(8%)
Chénopodiacees type " <i>Atriplex</i> "	105	(23,3%)
<i>Ephedra</i> cf. <i>alata</i>	133	(29,6%)
<i>Moltkia ciliata</i> (Borraginaceae)	1	
<i>Calligonum</i> cf. <i>comosum</i> (Polygonaceae)	1	
<i>Cyperus conglomeratus</i> (Cyperaceae)	1	

Notons l'absence dans cette flore pollinique d'éléments à caractère tempéré.

Devant le caractère *a priori* quelque peu aberrant de cette juxtaposition d'éléments ayant actuellement une répartition géographique très différente, il faut tenter de déterminer, dans la mesure des moyens dont nous disposons pour ce faire, quelles sont les exigences biologiques actuelles propres aux diverses essences ici représentées par leurs pollens. Nous envisagerons ainsi chacun des groupes d'éléments précédemment définis et en premier lieu, cela paraît logique, celui qui ne rassemble que des espèces actuellement étrangères au territoire saharien étudié : le groupe des éléments méditerranéens *sensu-stricto*.

1 - Les éléments à caractère méditerranéen *sensu-stricto*.

Toutes les essences représentées dans ce groupe ont été évoquées dans le chapitre IV, comme des éléments entrant dans la composition de la flore forestière actuelle d'Afrique du Nord. Pour chacune d'entre elles nous essaierons de situer les conditions biologiques ou climatiques dont leur représentation, dans une flore pollinique, semblerait devoir laisser présumer.

a) *Cedrus*. Le pollen de ce genre est resté spécifiquement indéterminable. La seule espèce actuellement présente en Afrique du Nord est *Cedrus atlantica* à propos de laquelle les documents les plus précis que nous possédions sont dûs à R. MAIRE (1925) et L. EMBERGER (1938). L'aire de répartition du cèdre de l'Atlas est extrêmement morcelée, nous avons pu nous en rendre compte, entre les très beaux peuplements du Rif, du Moyen-Atlas-Haut-Atlas oriental et ceux de moindre importance des montagnes d'Algérie : Djurjura, Hodna, Aurès, Kabylie et massif de l'Ouarsenis, ce dernier marquant, pour l'Atlas saharien, la limite de l'extension vers l'W de la cédraie. Comme l'a exprimé L. EMBERGER (*loc. cit.*, p. 88), "la limite altitudinale inférieure, puisqu'entièrement sous la dépendance de la pluviosité et celle-ci étant fonction du relief, suit un tracé très capricieux". C'est ainsi qu'elle peut varier entre des cotes allant de 1350 m à 1800 m suivant l'exposition des versants aux vents chargés d'humidité. Nous avons vainement recherché quelques précisions relatives aux conditions de pluviosité les plus favorables à l'épanouissement de la cédraie. R. MAIRE (*loc. cit.*) considère "l'association du cèdre" comme relativement xérophile, capable de supporter un climat sec l'été et froid (donc physiologiquement sec) l'hiver, capable également de subir une longue période d'enneigement. Faute d'informations suffisamment précises et compte tenu de la localisation possible de certains peuplements connus, sur une carte pluviométrique d'Afrique du Nord, nous avançons avec prudence, mais sans grand risque d'erreur, nous semble-t-il, la nécessité de conditions de pluviosité minimales de l'ordre de 500 mm (Ouarsenis) à 600 mm (Fez et Taza dans le Rif). D'après L. EMBERGER et R. MAIRE (1934), le Haut-Atlas oriental reçoit 600-700 mm d'eau annuellement et l'on sait le beau développement de la cédraie à l'altitude 2300-2400 m sur le flanc N. de l'Ari Ayachi (à quelques 80 km des sources du Guir). Par contre les sommets de l'Aurès, bénéficiant d'après H. GAUSSEN (1949) de précipitations de l'ordre de 900-1000 mm, offrent à la cédraie des conditions d'humidité nettement supérieures. A noter cependant que L. EMBERGER (*loc. cit.*, p. 90) précise que les Cédraies afghanes à *Cedrus Deodora* "paraissent soumises à des conditions climatiques comparables à celles qui

règnent dans la haute montagne marocaine, la région de Kaboul recevant 500 mm de pluies annuelles, valeur qui rejoindrait celle que nous avons nous-même précédemment déduite comme limite inférieure pour l'Afrique du Nord.

Du point de vue édaphique, le cèdre manifeste une grande capacité d'adaptation, particulièrement dans l'Atlas marocain.

b) *Pinus* type "*laricio*". L'espèce actuellement nord-africaine à laquelle nous avons rapporté le type pollinique ainsi nommé est extrêmement localisée, nous l'avons vu, en deux seuls points des montagnes du Rif et du Djurjura. Ne possédant encore pour unique document que la carte pluviométrique du Nord de l'Afrique, nous pouvons déduire cependant, en raison de la pluviosité relativement élevée en ces régions, que cette espèce montagnarde nécessite à peu près certainement une quantité d'eau annuelle supérieure à 1000 mm, peut-être même plus voisine de 1500 mm, si l'on se réfère aux données de H. GAUSSEN (*loc. cit.*) selon lequel les crêtes du massif du Djurjura pourraient recevoir jusqu'à 2000 mm d'eau. Pour L. EMBERGER (1930-1933, . chapitre IV), *Pinus laricio* se situe dans l'étage de végétation méditerranéen humide.

c) *Pinus cf. halepensis*. Signalé en un très petit nombre de localités du Moyen et du Haut Atlas par E. JAHANDIEZ et R. MAIRE (1931) et par L. EMBERGER (1932), *Pinus halepensis* y est regardé par ce dernier auteur comme une essence appartenant à l'étage de végétation semi-aride, élément relictuel réfugié "là où le climat est aussi peu atlantique que possible" (*cf.* chapitre IV). Considéré encore comme une rareté dans les montagnes du Sud-oranais, le pin d'Alep prend une belle extension en Algérie et dans une partie de la Tunisie. La notice qui accompagne la carte phytogéographique de R. MAIRE (*loc. cit.*) apporte des renseignements précis quant aux exigences écologiques de cette dernière. *Pinus halepensis* est défini par l'auteur comme une espèce xérophile et thermophile capable de s'adapter à un milieu littoral recevant plus de 600 mm d'eau, en y recherchant les sols les plus secs, aussi bien qu'aux milieux les plus proches des milieux arides ne recevant plus que 300 à 350 mm de pluies annuelles. L'association du pin d'Alep

telle que l'a décrite R. MAIRE comporte plusieurs faciès, littoraux ou continentaux, délimités géographiquement. Les faciès continentaux nous intéressent plus particulièrement, correspondant déjà à des conditions climatiques devenant relativement précaires. L'auteur distingue un faciès continental tellien dans lequel *Pinus halepensis* est accompagné d'un sous bois à *Quercus ilex*, *Quercus coccifera*, *Pistacia terebenthus*, *Pistacia lentiscus*, *Juniperus oxycedrus*, *Phillyrea media*, supportant une température moyenne annuelle de 12° et recevant 400 à 500 mm de pluies. Plus défavorisé (12° également, mais 350 mm de pluies seulement), le faciès continental de l'Atlas saharien (Monts des Aurès et des Ouled Naïl, Djelfa, Aflou) semble perdre par rapport au précédent *Quercus coccifera*, mais s'enrichit de *Juniperus phoenicea* plus xérophile et, dans les régions basses, de *Pistacia atlantica*. D'après la carte pluviométrique de J. DUBIEF (1963) certaines des localités précédentes seraient plus sèches qu'il ne paraît d'après R. MAIRE, Djelfa et Aflou étant inscrites à l'intérieur de l'isohyète 300 mm. Par contre H. GAUSSEN (1949), à propos des "Essences forestières et de la pluviosité en Tunisie" fait allusion au précédent faciès défini par R. MAIRE et insiste sur la nécessité d'inscrire tous les massifs forestiers de pin d'Alep dans la courbe des 350 mm. Ce faciès continental de l'Atlas saharien, caractérisé par un cortège végétal bien défini associé à *Pinus halepensis*, entre dans l'étage de végétation semi-aride de L. EMBERGER et même dans le sous-étage inférieur (pluviosité : 300-400 mm) (cf. chapitre IV).

d) *Quercus* type "*ilex*". Sous ce type nous nous souvenons avoir rassemblé, dans le chapitre consacré à la morphologie pollinique, des pollens pouvant appartenir à *Quercus ilex*, *Quercus coccifera* ou à quelques variétés voisines de ces espèces, probablement aussi à des formes hybrides.

Quercus coccifera n'est signalé par E. JAHANDIEZ et R. MAIRE (*loc. cit.*) qu'en de rares points du Rif, du littoral oranais, de la région de Tanger, comme une essence des collines littorales et des basses montagnes. Elle est notée également au Moyen-Atlas. Nous venons de la voir plus précisément associée, en Algérie, au cortège floristique de *Pinus halepensis* dans le faciès de l'Atlas tellien correspondant alors à un minimum de pluviosité

de 400 mm. En 1931, A. EIG (p. 110) exprimait son étonnement devant la "faible ampleur morphologique et la subordination sociologique que présente *Quercus coccifera* en Méditerranée occidentale", cette espèce étant considérée en Syrie, en Palestine comme l'une des essences forestières les plus importantes recouvrant la forme de grands arbres, alors qu'en Méditerranée occidentale elle ne prend qu'un aspect de buissons nains. Notons qu'il a échappé à ce dernier auteur que R. MAIRE avait signalé cette espèce en Algérie. Pour A. EIG, *Quercus coccifera* est une espèce "affine" de Méditerranée orientale. Peut-être ne fallait-il pas négliger de rapporter ici cette précision.

Quercus ilex par contre nous est apparu très largement répandu dans toutes les montagnes d'Afrique du Nord. Nous l'avons vu constituer une ceinture forestière à peu près constante entre 1300 et 2450 m dans tout le Haut-Atlas, descendre jusqu'à 900 m à la faveur d'influences méditerranéennes, dans la vallée de l'Ourika, apparaître vers 1900 m dans l'ensemble des massifs déjà secs du Sud-oranais, croître sur les flancs nord des montagnes de l'Atlas saharien occidental, y évitant les versants sud trop exposés déjà aux vents sahariens. Nous nous souvenons de l'étagement très caractéristique de la végétation dans l'Anti-Atlas dont les basses pentes voient s'interpénétrer l'arganiaie à caractère tropical et la flore steppique saharienne, tandis que le sommet est marqué d'un caractère méditerranéen par son peuplement de *Quercus ilex* et *Juniperus oxycedrus*. R. MAIRE, pour l'Algérie, précise le caractère xérophile de "l'association de *Quercus ilex*," espèce qui est toutefois souvent concurrencée par de nombreuses autres plus thermophiles (T° la plus favorable : 9-14°). *Quercus ilex* qui atteint son plein épanouissement en des régions recevant 600 mm de pluies annuelles s'adapte, dans les zones les plus déshéritées des montagnes d'Afrique du Nord, à des moyennes faibles de 300-350 mm (Aurès, Monts de Djelfa, de Figuig, Haut-Atlas). Nous pouvons alors conclure quant à cette espèce que, si elle représente pour L. ENGELGER l'une des essences importantes de son étage de végétation méditerranéen tempéré, elle participe déjà à l'étage de végétation méditerranéen semi-aride, marqué à sa limite inférieure par des valeurs de la pluviosité de l'ordre de 300 à 400 mm. *Quercus ilex* est une espèce très tolérante du point de vue édaphique.

e) *Olea*. Nous n'avons pas cru devoir consacrer de paragraphe spécial aux pollens du genre *Olea* lors de l'étude morphologique précédente, bien que la présence de l'olivier soit fréquente dans nos analyses. Nous avons en principe admis que ces pollens devaient être rapprochés de ceux d'*Olea europea* d'après leurs caractères morphologiques. Nous soulignons cette précision, car nous avons cherché à comparer les pollens actuels d'*Olea europea* issus d'Afrique du Nord et ceux d'*Olea laperrini*, espèce adaptée au Sahara Central, sans réussir à trouver en cette comparaison les différences qui ont été discernées avec beaucoup de finesse par A. BENICHO (1962). Les caractères des pollens fossilisés dans les sédiments sahariens répondent, **sauf exception** (cf. chapitre XII), à la description des pollens actuels d'*Olea europea* . aux différences de taille près, ce qui est une observation normale lorsque l'on compare des pollens actuels et des pollens fossiles.

Selon la classification de L. EMBERGER, *Olea* se place dans l'étage de végétation méditerranéen tempéré, mais d'après ce même auteur (1932), il participe à l'étage de végétation semi-aride des massifs du Ngoun et du Ghat dans le Haut-Atlas. R. MAIRE (*loc. cit.*) signale que si l'olivier supporte des précipitations abondantes, il est cependant capable de se développer dans les régions dont la pluviosité moyenne annuelle est faible (400 mm et même moins). Essence à la fois xérophile et thermophile, elle prospère largement en Tunisie d'après H. GAUSSEN (1949), dans les limites de l'isohyète 300 mm, bien qu'elle soit encore présente dans les Matmata (cf., figure 9) qui reçoivent à peine plus de 250 mm d'eau. Dans les montagnes du Sud-oranais ou de l'Atlas saharien occidental, *Olea europea* figure au nombre des essences principales constituant des "forêts-galeries", développées à la faveur de sources pérennes ou d'oueds temporaires. Dans ces associations figurent notamment, à côté d'*Olea*, *Pistacia atlantica*, *Certaonia siliqua*, *Ziziphys lotus*. Au pied de l'Atlas saharien, *Olea europea* accompagne souvent *Pistacia atlantica* et *Ziziphys lotus* dans les groupements de dayas ou les ravins d'oueds temporaires coulant déjà au coeur même de la steppe saharienne. Il est très probable alors que ces espèces ne bénéficient guère de plus de 250 mm d'eau leur offrant des conditions d'humidité locales particulières au sein d'un

environnement désertique. C'est ainsi que P. QUEZEL (1965, pp. 127-128) définit, pour le Sahara nord-occidental, une association à "*Acacia raddiana* *Ziziphus lotus*" localisée sur les berges et dans les lits sablonneux des oueds de quelque importance qui descendent des flancs de l'Atlas saharien". Cette association, non reconnue par contre dans les parties plus septentrionales du Sahara, a été observée un peu partout au Sahara nord-occidental "depuis l'oued en Namous jusque dans la région de Bou Denib". Elle compte parmi ses caractéristiques, *Olea europea* qui atteint ici sa limite méridionale extrême, à la faveur d'un microclimat particulièrement favorable du fait que l'oasis de Bou Denib est située sur la vallée du Guir. C'est pratiquement au niveau de cette oasis que l'isohyète 100 mm traverse le Guir : ceci manifeste le caractère local du biotope permettant le maintien de cette association en territoire déjà tout à fait saharien.

f) *Pistacia cf. atlantica*. Malgré la prudence exprimée quant à la détermination spécifique, nous situerons dans le contexte général de cette analyse les exigences biologiques de cette dernière essence. Si en effet le pollen représente bien l'espèce supposée, nous venons de voir cette dernière s'inscrire dans tout le massif de l'Atlas, dans des associations caractérisant les ravins, les lits d'oueds temporaires, les berges des oueds de quelque importance, bien plus elle caractérise, avec *Ziziphus lotus*, souvent associée à *Olea europea* les dayas des Hauts-Plateaux (300 à 400 mm d'eau), celles du Sahara septentrional, dans la zone précisément nommée "région des dayas", s'étendant à l'E et à l'W de l'oasis de Laghouat (150 mm d'eau approximativement). Cette association, que L. EMBERGER place dans l'étage de végétation méditerranéen aride, se retrouve vers l'W. jusqu'à la Zousfana. Nous nous souvenons enfin des conditions particulièrement précaires dans lesquelles subsiste, à l'état relictuel, *Pistacia atlantica*, reconnu par P. QUEZEL (*loc. cit.*) sur les pentes exposées au N. du djebel Arlal, 120 km en amont de Béni-Abbès, sa présence est alors liée probablement à quelque biotope particulier, isolé entre les isohyètes 100 et 50 mm. Rappelons également que cette "relique" a été associée par l'auteur au groupement des pentes rocheuses caractérisant les Monts d'Ougarta et de Tabelbala (*cf.* chapitre III).

En supposant que notre détermination spécifique soit erronée, le pollen ne pourrait, alors probablement être rapporté qu'aux espèces "*lentiscus*" ou "*terebenthus*", sûrement plus exigeantes du point de vue hydrique que *P. atlantica*, mais se maintenant encore, semble-t-il, dans des conditions climatiques semi-arides.

g) *Erica arborea*. Adaptée aux terrains siliceux, *Erica arborea* semble, d'après E. JAHANDIEZ et R. MAIRE (1934) principalement localisée en plaine et dans les basses montagnes du Maroc. Nous n'avons que peu de données d'ordre climatique permettant de présumer des exigences biologiques de cette espèce. Elle n'est signalée en Algérie par R. MAIRE que dans l'association du chêne liège (*Quercus suber*), nécessitant un minimum de 600 mm de pluies annuelles; elle figure d'ailleurs comme l'une des caractéristiques de cette association, aussi bien dans son faciès littoral que dans son faciès montagnard qui occupe notamment les Monts de Tlemcen, pour lesquels la carte pluviométrique semblerait indiquer une pluviosité de l'ordre de 500 à 600 mm effectivement. Notons que pour le chêne liège, H. CAUSSEN (*loc. cit.*) propose au minimum l'isohyète 700 mm en Tunisie, tandis qu'au Maroc il apparaîtrait que la limite inférieure de pluviosité nécessaire se situe aux environs de 500 mm. Faut-il donc lier à ces valeurs la possibilité de développement d'*Erica arborea* ? Nous manquons d'informations pour le préciser. Par contre, il est assez remarquable semble-t-il qu'*Erica arborea* figure au nombre des espèces composant les "forêts-galeries" fréquentes dans les montagnes du Sud-oranais à la faveur de nombreuses sources. Cette région voisine déjà de la plaine saharienne, peut recevoir, d'après la carte pluviométrique, une moyenne de 300 mm de pluies annuelles, moyenne variable, sans doute, selon l'altitude. D'autre part, une intéressante indication est donnée par A. MONJAUZE, L. FAUREL et G. SCHOTTER (1955) qui signalent avoir retrouvé, au cours d'un itinéraire botanique traversant le Kef Menâa, au N-E de Djelfa, l'*Erica arborea* qui y avait été observée en 1938, par A. MONJAUZE. Le contexte dans lequel est rapportée cette trouvaille lui confère un caractère tout à fait relictuel. Les auteurs précisent (p. 210) : "le lieu de notre redécouverte s'appelle précisément Bou Haddad, c'est-à-dire bruyère, alors que les indi-

gènes ignorent aujourd'hui le sens du vocable et ne donnent plus aucun nom particulier à la bruyère arborescente". Cette région, nous avons eu l'occasion de le dire, bénéficie également de 300 mm de pluies annuelles au minimum, en moyenne. Peut-être est-ce plus sûrement la possibilité de trouver un milieu localement limité, mais suffisamment humide en permanence, qui permet à *Erica arborea* de survivre en territoire déjà semi-désertique ?

L'analyse étant faite des exigences biologiques propres à chacune des essences représentées par leurs pollens dans ce groupe d'éléments à caractère méditerranéen, il semble que nous soyons en mesure d'y reconnaître tout au plus trois catégories d'espèces réparties de la façon suivante :

- *Pinus* type "*laricio*", seule espèce présentant actuellement des exigences hydriques élevées (plus de 1000 mm , 1500 mm ?).

- *Cedrus*, en supposant que le pollen fossile représente *C. atlantica*, espèce tolérant un minimum de pluviosité de 500 mm , capable de s'adapter à des sols variés, nécessitant des conditions de nébulosité particulières, mais recevant, en Algérie principalement, des précipitations de l'ordre de 900-1000 mm.

- *Pinus* cf. *halensis*, *Quercus* cf. *ilex*, *Quercus* cf. *coccifera*, *Olea* cf. *europaea*, *Pistacia* cf. *atlantica*. Si l'on envisage, en les comparant, les exigences propres à chacune de ces essences, on s'aperçoit que finalement *Pinus halensis* et *Quercus ilex*, dans la nature actuelle, vivent dans des conditions approximativement semblables bien que *Pinus halensis* soit un peu plus xérophile et thermophile que *Quercus ilex*. Ces espèces croissent en altitude où elles trouvent les conditions d'humidité les plus favorables à leur développement; seule, la sécheresse trop accentuée s'oppose à leur installation dans les régions les plus basses. La limite inférieure de pluviosité qu'elles supportent est de l'ordre de 300 à 350 mm. Ces deux essences auxquelles s'ajoute *Olea* entrent en partie au moins, dans l'étage de végétation semi-aride, bien qu'elles s'épanouissent dans l'étage de végétation méditerranéen humide répondant à une valeur de la pluviosité supérieure à celle évoquée précédemment.

Nous nous trouvons donc d'une part, en présence de trois espèces dont les exigences biologiques, que nous avons traduites en terme de "pluviosité", varient entre des limites extrêmes différentes mais qui ont en commun la capacité de se développer dans des conditions d'humidité régies par une pluviosité moyenne annuelle de 300-350 mm (*Pinus halepensis*, *Quercus ilex*, *Olea europea*), d'autre part en présence d'une association possible d'*Olea europea* et *Pistacia atlantica* dans le contexte d'un milieu correspondant ici précisément au lit d'un oued fonctionnel, temporairement du moins. En fait, en analysant l'association du pin d'Alep, nous avons évoqué le faciès continental que revêt ce groupement dans l'Atlas saharien, faciès comptant parmi ses caractéristiques *Pinus halepensis*, *Quercus ilex* et dans les régions basses *Pistacia atlantica*, sans que cette dernière espèce semble liée à un milieu particulier.

Cet ensemble des quatre essences que nous venons d'envisager paraît donc constituer une association tout à fait cohérente, association comparable au cortège actuel du Pin d'Alep dans l'Atlas saharien, favorisée par des conditions de pluviosité qu'il faut probablement évaluer au moins à 300-400 mm d'eau si l'on doit y inclure *Quercus coccifera*, encore que notre connaissance de cette espèce reste très imprécise et que cette dernière ne soit peut-être pas plus exigeante que *Quercus ilex*. Quant à *Erica arborea*, il ne nous semble pas impossible d'admettre que cette espèce puisse trouver sa place dans cette association localisée à proximité d'un oued.

La comparaison qui vient de nous permettre de distinguer, dans le groupe d'éléments à caractère méditerranéen, trois catégories séparées par des exigences hydriques différentes, met en évidence l'impossibilité de supposer que *Pinus laricio* ait pu être associé au groupe tout à fait cohérent que constituent *Pinus cf. halepensis*, *Quercus cf. ilex*, *Quercus cf. coccifera*, *Olea cf. europea* et *Pistacia cf. atlantica* et la difficulté de penser que la coexistence de *Cedrus* avec ces dernières espèces, ait été probable, encore que nous devions ici laisser une porte ouverte à cette éventualité,

en raison de la limite inférieure de pluviosité relativement basse que semble pouvoir accepter le genre *Cedrus* dans certains cas. Dans cette optique, il faut alors considérer que la microflore pollinique représentant ce groupe d'éléments à caractère méditerranéen *sensu-stricto*, correspond à une juxtaposition de pollens d'essences n'ayant pas vécu dans les mêmes limites géographiques, car si nous nous situons dans le contexte du Fourn Marouga où a été prélevé le sédiment analysé, nous ne pouvons arguer la présence de reliefs suffisamment élevés expliquant la possibilité de zones de pluviosité notablement différentes et consécutivement, l'étagement d'espèces ayant des exigences biologiques aussi diverses. Les pollens de *Pinus* type "*laricio*" doivent sûrement être considérés comme allochtones, quelle que soit leur origine (remaniement ? apport par le vent ? par l'eau ?). Quant à *Cedrus* nous préférons laisser la question en suspens, telle que nous l'avons posée précédemment.

Une autre façon d'envisager le problème consisterait à admettre que *Pinus* cf. *halepensis*, *Quercus* cf. *ilex* et *Quercus* cf. *coccifera*, *Olea* cf. *europaea*, *Erica arborea*, représentés par leurs pollens, auraient vécu dans des conditions très différentes de celles que nous avons supposées, bénéficiant d'une pluviosité très supérieure qui permettrait alors de leur associer *Cedrus* et peut-être *Pinus* type "*laricio*". L'importance de la pluviosité alors envisagée supposerait que l'on s'éloigne beaucoup des conditions de semi-aridité dont il a été présumé et que l'association corresponde au climat méditerranéen humide de L. EMBERGER et à l'étage de végétation qui caractérise ce dernier. Il faudrait alors sûrement isoler *Pistacia atlantica* des essences précédentes, de par son appartenance à l'étage de végétation semi-aride. Cette seconde hypothèse ne pourrait être envisagée hors du contexte géologique, stratigraphique, sédimentologique : il faudrait savoir si elle est compatible avec ces diverses données mais aussi avec le contexte botanique général que révèlent également les autres groupes d'éléments composant la microflore pollinique et que nous allons envisager à la suite de ce premier ensemble.

2 - Les éléments à caractère désertique-sub-méditerranéen-méditerranéen.

En comparaison du groupe des éléments précédents qui, numériquement, sont faiblement représentés, on est frappé par l'importance de la microflore pollinique représentant ce second groupe.

a) Ziziphus lotus. Cette espèce semblerait devoir rejoindre le groupe précédent puisque nous y avons évoqué sa présence, à côté d'*Olea europea* et de *Pistacia atlantica* dans les associations humides des ravins, lits d'oueds, "dayas". R. MAIRE (*loc. cit.*) signale l'importance qu'a dû recouvrir la brousse climatique à *Ziziphus lotus* dans la région des Hauts-Plateaux recevant 300 à 400 mm de pluies annuelles (conditions semi-arides). Cette strate frutescente correspond probablement à une étape de dégradation de la forêt. Le jujubier est également capable de s'adapter à une très grande sécheresse; de ce fait *Ziziphus lotus* se situe, pour L. EMBERGER, dans l'étage de végétation méditerranéen aride.

b) Artemisia. Sous ce nom de genre, plusieurs espèces sont probablement rassemblées sauf, semble-t-il, *Artemisia judaica*, nous l'avons dit à l'occasion de l'étude morphologique. La plus steppique de ces espèces est *Artemisia herba-alba* qui forme, dans le secteur des Hauts-Plateaux, d'immenses steppes mêlées de broussailles à *Ziziphus lotus*. Elle y est donc soumise également à un climat semi-aride, bien que sa limite méridionale extrême se situe déjà en pleine zone désertique, un peu au Sud de l'isohyète 100 mm. Cette limite, bien que saharienne, est éloignée de 220 km approximativement au N. du Fom Marouga. *Artemisia herba-alba* est capable de supporter des milieux inondés, plaines alluviales, dépressions, fonds de vallées, à condition semble-t-il, que ces stations ne soient pas trop salées. D'après R. MAIRE, lorsque le sol s'enrichit en sels de sodium et de magnésium, des Chénopodiacées telles que *Atriplex halimus* répondant à un faible salant, peuvent se mêler à la steppe à *Artemisia*, formant des faciès de transition entre la steppe à *Artemisia* et la steppe pure à Chénopodiacées halophiles.

Dans l'analyse envisagée la microflore pollinique compte 9% de pollens du genre *Artemisia*, ce qui n'est pas négligeable et suppose à l'époque envisagée du Quaternaire, une plus large extension vers le Sud de la steppe à *Artemisia herba-alba* probablement et peut-être d'espèces actuelles à caractère méditerranéen encore plus accentué.

c) Graminées. La présence de pollens représentant cette famille n'apporte, comme nous l'avons déjà dit, aucun renseignement quant au milieu dans lequel elles se sont développées : Graminées psammophiles de bordures de dunes, d'oueds sablonneux, ou Graminées plus hygrophiles sont représentées dans la microflore pollinique dans la proportion de 8%.

d) Chénopodiacées. Il est quasiment impossible, cela a été explicité en étudiant les pollens actuels et fossiles des Chénopodiacées, de préciser la composition générique de cette fraction de flore représentée par une proportion tout à fait notable de pollens : 23% de l'ensemble de la microflore pollinique. Nous avons insisté sur le caractère édaphique de cette famille, présumant, compte tenu de la connaissance que nous avons de son extension actuelle au Sahara, de la présence possible d'un certain nombre de genres et espèces sur lesquels nous ne reviendrons pas ici. Parmi ces espèces, certaines ont une large répartition, méditerranéenne et saharienne, d'autres sont plus strictement inféodées au milieu désertique. Dans l'impossibilité où nous nous trouvons de faire la part des unes et des autres, nous avons finalement précédemment admis que, dans le contexte général d'une microflore pollinique, comptant un certain nombre d'éléments sûrement sahariens, la pseudo-steppe à Chénopodiacées, représentée par ses pollens, devait être relativement proche, spécifiquement, de celle qui colonise les sables gypseux, argilo-limoneux de l'actuelle vallée de la Saoura et de ses affluents, mais aussi de vallées plus septentrionales telle que celle de l'oued Djedi au Sahara sud-constantinois (P. QUEZEL, 1965, p. 70). En bordure de l'oued Djedi, les oasis de Laghouat et Tadjemout reçoivent en moyenne 175 mm de pluies annuelles d'après R. CAPOT-REY (1953, p. 487). A Béni-Abbès la quantité d'eau précipitée n'est plus que de 30 mm environ et, bien au Sud de cette oasis,

la pseudo-steppe à Chénopodiacées, composée des mêmes espèces, se développe dans des conditions encore plus précaires. Ces valeurs ne sont toutefois pas forcément des valeurs extrêmes, la steppe saharienne se développant encore, avec des espèces désertiques strictes (*Anabasis aretzioides*), dans la plaine de Rich et du Gourrama à 1300 m d'altitude, à la bordure méridionale du Haut Atlas (pluviosité moyenne annuelle : 238,5 mm à Rich. Remarquons encore que P. QUEZEL (*loc. cit.*) note l'extension des espèces halophiles de souche septentrionale, des Chénopodiacées notamment (*Salsola foetida*, *Salsola vermiculata*), au Sahara océanique et sub-océanique, à la faveur d'une humidité persistante et ceci jusqu'à l'embouchure du Sénégal dont est voisin le passage de l'isohyète des 300 mm.

Il est à peu près vraisemblable que la pseudo-steppe à Chénopodiacées que révèle la microflore pollinique, si nous la supposons comparable à celle que l'on connaît actuellement au Sahara nord-occidental, n'a pu se développer au Fom Marouga ou aux alentours, que sous des conditions climatiques voisines de conditions semi-désertiques ou à la limite de la semi-aridité, dans un milieu semblable à celui qui détermine son développement dans la vallée de la Seoura, conditions qui ne sont certes plus celles qui règnent à présent au Fom Marouga échappant à toute humidité autre que celle reçue des rares et irrégulières pluies qui tombent sur cette région. Humidité mais aussi évaporation, liée à une certaine aridité, ont conditionné probablement, à l'époque où s'est mis en place le sédiment ici étudié, la concentration de sels favorisant l'extension d'une végétation halophile, secondairement édaphique.

e) *Ephedra cf. alata*. Comparable est le problème posé par la présence du genre *Ephedra* dont le pollen semble pouvoir être identifié à celui de l'actuelle *Ephedra alata*, psammophile stricte et localisée en territoire saharien. Il est évident que, présents selon un pourcentage voisin de 30, les pollens d'*Ephedra* confèrent à la microflore pollinique considérée globalement, un caractère désertique prononcé. Quant aux conditions hydriques auxquelles est liée cette espèce, en dépit de son adaptation, en pre-

mier lieu, à des milieux sableux (lits d'oueds, bordure d'erg, "feidj"), il n'est pas très aisé d'en fixer numériquement une idée. Outre la connaissance que nous avons de sa très large répartition au Sahara (dont nous rappelons la limite septentrionale, marquée par l'isohyète 100 mm) nous avons pu préciser qu'elle ne dépasse pas, en Tunisie méridionale, ce que N.H. LE HOUEROU (1959, p. 144) appelle, à la suite de L. EMBERGER, l'étage méditerranéen saharien supérieur (pluviosité moyenne annuelle : 50-100 mm) Par ailleurs elle participe au peuplement végétal d'un point humide dans les gorges d'un oued du Tadmaït (R. MAIRE, 1940, pp. 296-297), au sein d'un groupement à *Scirpus holoschoenus*, Cypéracée plurirégionale dont le développement laisse présumer d'une quantité d'eau locale effectivement notable.

On sait aussi qu'un buisson d'*Ephedra* est capable de développer plus de 10 m de système racinaire afin d'atteindre les nappes où il ira puiser l'eau nécessaire à sa survie. R. MAIRE (1916) (cf., chapitre IV) étudiant la végétation du flanc sud du Djebel Mzi, à la limite du désert, a montré comment l'étage supérieur, peuplé de *Quercus ilex* et *Juniperus* domine à 2000 m d'altitude la plaine saharienne steppique à *Haloxylon articulatum*, *Anabasis aretioides*, *Ephedra alata*. Et nous venons précédemment de voir *Anabasis aretioides* et *Haloxylon articulatum* coexister avec l'alfa dans la plaine de Rich recevant annuellement près de 240 mm de pluie. Dans cette dernière association *Ephedra alata* n'est pas signalée. Est-ce le fait d'une pluviosité qui lui serait défavorable parce que déjà trop abondante ? N'est-ce pas seulement la conséquence d'une absence de nappes sableuses nécessaires à son développement ? Ce n'est là qu'une hypothèse, peut-être hasardeuse, à laquelle s'oppose sûrement l'opinion de P. QUEZEL (*loc. cit.* p. 17), selon laquelle "l'alfa et les groupements où l'alfa existe, excluent d'une façon absolue toute végétation du type saharien tout à fait typique". Mais alors, comment expliquer que *Anabasis aretioides*, dont le type biologique est bien reconnu par P. QUEZEL comme strictement saharien, participe à ce groupement végétal mixte dans lequel se juxtaposent espèces méditerranéennes (alfa) et sahariennes (*Haloxylon*, effectivement considérée comme une plante de transition et *Anabasis*). L'hypothèse soulevée précédemment nous a été sug-

gérée par l'approximation qu'apporte R. MAIRE dans la notice de sa carte phytogéographique. Définissant brièvement les divers domaines botaniques reconnus en Algérie-Tunisie, il oppose la région méditerranéenne à la région saharienne et, quant à cette dernière, il insiste sur le caractère essentiellement édaphique de sa végétation, composée d'espèces très résistantes à la sécheresse, parmi lesquelles *Ephedra alata*, précisant enfin qu'en cette région saharienne la lame d'eau n'atteint pas, annuellement 250 mm. Ceci laisse supposer que, pour l'auteur, cette valeur peut-être non atteinte effectivement, n'est pas très éloignée de la limite de pluviosité en deçà de laquelle la végétation prend un caractère de steppe désertique, même si certaines espèces nettement méditerranéennes peuvent encore y trouver la possibilité de s'épanouir. Finalement, au terme de cette recherche relative au développement d'*Ephedra alata*, la question reste posée quant à son éventuelle capacité à supporter une pluviosité supérieure à celle effectivement mesurable dans les régions les plus favorisées où elle se trouve actuellement localisée. Faut-il se limiter aux valeurs données par N.H. LE HOUEROU ? Nous les pensons en réalité sous-estimées car si nous localisons sur la carte pluviométrique la zone steppique saharienne que domine le djebel Mzi, elle se situe nettement au-delà de l'isohyète 100 mm., approximativement entre les oasis de Béni-Ounif et Aïn Sefra dont les valeurs moyennes de pluviosité annuelle sont respectivement voisines de 120 et 190 mm. Les approximations de R. MAIRE, s'il est possible qu'elles soient légèrement sur-estimées par contre, laisseraient volontiers penser toutefois qu'*Ephedra alata*, essentiellement inféodée aux milieux sableux ou sablonneux, au contraire des autres espèces de ce genre en Afrique du Nord au moins, peut supporter que ces milieux soient le lieu d'accumulation d'une certaine quantité d'eau non défavorable à son développement. Une raison de le penser est le fait qu'elle ait été rencontrée dans cette association humide du Tadmait.

f) *Moltkia ciliata*, *Calligonum cf. comosum*, *Cyperus conglomeratus*. La présence de ces trois espèces, représentées chacune par un seul pollen, à côté de celles précédemment citées, n'a d'intérêt qu'en raison de leur caractère psammophile qui suggère de les associer à *Ephedra alata*, souli-

gnant ainsi le type édaphique d'une partie de la flore, *Moltkia ciliata* et *Cyperus conglomeratus* étant plus spécifiquement liées aux formations dunaires, tandis que *Calligonum comosum* s'installe également sur les sables d'oueds.

Une meilleure connaissance des conditions dans lesquelles l'ensemble de ces espèces vivent actuellement au Sahara ou, pour certaines, en territoire plus septentrional, fait apparaître quelques différences quant à leurs exigences biologiques respectives. *A priori*, il semblerait presque plus logique de rapprocher *Ziziphus lotus* et *Artemisia* du groupe à caractère méditerranéen *s.s.*, plutôt que d'*Ephedra* à caractère plus désertique et même des Chénopodiacées. Cependant il ne peut nous échapper que *Ziziphus lotus* et *Artemisia herba-alba*, la plus steppique des espèces qui peuvent être représentées par leurs pollens dans les analyses, pénètrent en territoire saharien et y vivent sous des conditions climatiques certes très précaires par rapport à celles dont elles bénéficient sur les Hauts-Plateaux. On ne peut donc dire que ce groupement d'éléments à caractère désertique-sub-méditerranéen-méditerranéen soit aberrant en comparaison de la composition de la flore actuelle du Sahara nord-occidental. Seulement, compte tenu du contexte géographique dans lequel se situe le niveau étudié, nous remarquons qu'à moins d'invoquer quelque apport lointain, *Ziziphus lotus* et surtout *Artemisia* sont représentés par leurs pollens en une région assez éloignée de leur localisation dans le présent. Quant aux Chénopodiacées et à *Ephedra cf. alata* accompagnée de quelques espèces psammophiles, il faut insister sur leur caractère essentiellement édaphique. Celui-ci est, bien sûr, originellement déterminé par la précarité des conditions climatiques, mais peut-être à condition d'admettre que ces dernières puissent varier entre certaines limites, sans pour autant modifier le développement d'espèces telles qu'*Ephedra alata* qui va puiser fort profondément dans le sol l'eau qu'elle ne reçoit pas de l'atmosphère. Anticipant quelque peu sur les conclusions finales de cet examen critique des résultats de l'analyse envisagée, il faut peut-être voir en cette capacité d'adaptation de types

de végétation édaphiques à une certaine variabilité du contexte climatique, une possibilité de comprendre leur présence, à des époques passées, dans des conditions très probablement différentes des conditions désertiques actuelles.

3 - Les éléments à caractère tropical-sub-tropical.

Un très petit nombre de pollens seulement, représente ici un groupe d'essences parmi lesquelles *Hymenocardia* et *Combretum* (cf.) actuellement absents du territoire étudié, sont d'un grand intérêt, tandis que le genre *Acacia* reste par contre largement répandu au Sahara.

a) *Acacia*. Parmi les pollens identifiés, l'un d'eux a été déterminé avec certitude comme un pollen d'*Acacia raddiana* (détermination confirmée par M. GUINET, 1969), acacia du groupe des "gommières", celui que tout saharien nomme familièrement "talha". *Acacia raddiana*, d'origine sahélo-soudanaise, est présent dans tout le Sahara depuis le piedmont atlasique jusqu'au Sahara méridional, caractéristique de la pseudo-steppe arborée à *Acacia-Panicum* que nous avons précédemment localisée dans les cailloutis limoneux de vallées sèches, d'oueds temporairement fonctionnels, ou jalonnant, à l'état rabougri, certains oueds ou "dayas" du réseau hydrographique fossile à la surface des hamadas sud-marocaines. Peut-être les autres pollens d'*Acacia*, représentent-ils cette même espèce ? Ce qui est certain, c'est qu'il s'agit de pollens d'*Acacia* du groupe des "gommières" également, dont l'espèce est restée indéterminable. Il n'est pas impossible qu'il s'agisse d'*Acacia gummifera*, espèce propre au Maroc. Nous excluons, pour des raisons d'ordre morphologique (structure d'exine), l'éventualité de la présence d'*Acacia seyal*, relique tropicale strictement localisée dans l'Anti-Atlas et le Sahara central. *Acacia raddiana* et, s'il était effectivement représenté, *Acacia gummifera*, sont associés à *Ziziphus lotus*, *Pistacia atlantica* (et, au Maroc seulement, à *Argania sideroxylon*) dans l'étage de végétation méditerranéen aride pouvant recevoir 100 à 300 mm de pluies annuelles.

b) *Hymenocardia*. Le pollen de ce genre, spécifiquement indéterminé faute de références suffisantes, répond cependant par ses caractères

à la description qui a été faite du pollen d'*Hymenocardia acida* par L. BERTRAND (1964, pl. 108). Sans pouvoir affirmer que le pollen fossile représente cette espèce, l'actuelle répartition du genre *Hymenocardia* donne cependant des raisons de présumer qu'il s'agit bien de l'espèce en question. *Hymenocardia acida* est en effet une essence arbustive panafricaine, l'une des espèces les plus communes de toutes les savanes boisées et forêts claires et aussi, celle qui présente l'extension la plus septentrionale (A. AUBREVILLE, 1950). D'après les quelques documents que nous avons pu réunir quant à sa localisation actuelle, il semble que les stations notées le plus au N. de son aire de répartition, se situent, au Sénégal (J. TROCHAIN, 1940, pp. 293-299) et peut-être au Soudan, au voisinage du 14ème parallèle, donc déjà nettement au Sud de la Mauritanie. A cette latitude, la carte pluviométrique de J.D. CLARK (1967) indique que l'on se trouve approximativement au passage de la zone de pluviosité 600-800 mm à celle des 800-1000 mm. Les localités dans lesquelles est signalé, précisément, *Hymenocardia acida* se trouveraient plutôt, semble-t-il, au Sud de l'isohyète 800 mm. C'est dire le caractère déjà humide de cette essence qui, à si basse latitude, vit actuellement à quelques 2000 km de la région où son pollen a été identifié à l'état fossile.

c) *Combretum* (cf.) Nous avons la quasi-certitude qu'il s'agit bien du genre *Combretum*, appartenant à une famille dont la distribution est tropicale et plus précisément sahélo-saharienne, pour certaines espèces. Les Combretacées constituent en Afrique occidentale l'une des plus importantes familles de la flore forestière des pays secs (A. AUBREVILLE, *loc. cit.*), comptant au sein du genre *Combretum* des formes arborescentes dont les plus septentrionales et les plus sèches atteignent le 18ème parallèle, donc le Sud de la Mauritanie. L'espèce, considérée la plus sèche par A. AUBREVILLE (*loc. cit.*, p. 106), est *Combretum aculeatum* qui s'étend de l'Atlantique à la Mer Rouge, pénétrant "peu profondément en zone soudanaise et ne quittant guère les pays arides sahéliens". Ce petit arbuste est signalé par Th. MONOD (1939), p. 81 à Tamchakett, située sur l'isohyète 200 mm et se trouverait même d'après cet auteur dans l'Adrar mauritanien (pluviosité : 50-100 mm)

D'après J. TROCHAIN (1952, p. 162), *C. aculeatum* fait partie du domaine sahélien et le dépasse vers le Nord. Deux autres espèces, *Combretum glutinosum* (B. ZOLOTAREWSKY et M. MURAT, 1938) et *Combretum micranthum* sont également présentes en Mauritanie où leur limite septentrionale atteint le Tagant (100-200 mm de pluies). L'espèce que représente le pollen fossile étant restée indéterminable, ces données, relatives à la localisation de quelques espèces du genre *Combretum* vivant à la limite extrême de son aire de répartition vers le Nord, ne peuvent que situer les exigences biologiques minimales de cette essence. En effet, nous ne pouvons négliger de préciser que la zone soudanaise pour laquelle une limite inférieure de pluviosité a été donnée à propos d'*Hymenocardia*, est riche d'un grand nombre d'espèces du genre *Combretum*, adaptées à des milieux beaucoup plus humides. Il est facile et tentant de penser que l'espèce représentée par son pollen fossile au Foum Marouga est une espèce sahélienne, sèche, s'alliant très bien dans la flore pollinique avec *Acacia raddiana* entre autres. Mais dans cette même microflore, elle coexiste aussi avec *Hymenocardia* aux exigences hydriques accentuées que nécessitent également bien des espèces déjà soudanaises du genre *Combretum*.

De la comparaison des exigences de ces trois essences, découle la conclusion de ce paragraphe consacré aux éléments d'origine tropicale-sub-tropicale. *Acacia raddiana*, saharo-sahélien et *Hymenocardia*, soudanais et soudano-guinéen, sont deux essences assez éloignées de par leur biologie respective. *Combretum* peut présenter des affinités avec l'une ou l'autre essence, selon l'espèce à laquelle appartient le pollen fossile. A l'intérieur de ce groupe à caractère tropical-sub-tropical, nous nous heurtons à des difficultés de compatibilité, analogues à celles que nous avons rencontrées à propos du groupe des essences strictement méditerranéennes.

4 - Conclusion à l'examen critique de cette analyse.

La microflore pollinique contenue dans le ciment du conglomérat aïdien du Foum Marouga s'est révélée composée d'une juxtaposition de groupes d'éléments à caractères divers : tropical-sub-tropical, plus ou moins méditerranéen ou désertique qui, pour nous avoir étonnée, nous a invitée à dégager

plus précisément les caractères biologiques de chacun de ces éléments, afin de voir s'il existait ou non une compatibilité réelle entre les divers groupes. Ceci nous a conduit assez souvent, à nous reporter à un contexte botanique tant saharien que nord-africain, déjà évoqué : ainsi nous avons été amenée de façon sûrement regrettable à des redites auxquelles il n'était pas aisé d'échapper sans risquer d'être alors très imprécise.

Nous pouvons, semble-t-il, résumer de la façon suivante les principaux points de cette réflexion :

a) un groupe d'éléments arborescents à caractère méditerranéen (*Pinus cf. halepensis*, *Quercus ilex* et *Quercus coccifera*, *Olea cf. europea*, *Pistacia cf. atlantica*, *Erica arborea* (peut-être ?) apparaît comme une association cohérente d'essences, restant faiblement représentées dans la microflore pollinique (à peine 4%), dont il est possible de penser qu'elles ont vécu dans des conditions de semi-aridité voisines, quant à la pluviosité, de la limite inférieure des exigences hydriques des moins xérophiles d'entre elles (300-400 mm au minimum pour *Pinus cf. halepensis*, *Quercus ilex* et *Quercus coccifera*). En supposant de telles conditions, *Ziziphus lotus* peut trouver sa place dans une telle association, compatible avec le développement d'une pseudo-steppe à *Artemisia*.

b) un groupe d'éléments actuellement présents au Sahara sous des conditions désertiques accentuées (Chénopodiacées, *Ephedra cf. alata*) mais essentiellement liés à des milieux particuliers (sols salés ou nappes sableuses) représente de toute évidence la fraction la plus abondante de la microflore pollinique (54%). Il nous est apparu précédemment que, dans l'éventualité de conditions d'humidité plus élevée que celle actuelle, il ne semblerait pas impossible que ces milieux restent favorables au développement des espèces qui leur sont inféodées, la limite supérieure d'humidité acceptable n'étant cependant pas facile à évaluer et n'étant pas forcément la même pour les Chénopodiacées et pour *Ephedra*. Cet accroissement d'humidité envisagé comme possible, ne peut l'être sans doute que dans des limites relativement étroites. Il faut que soit maintenue la précipitation des sels et

du gypse notamment, pour que survive une pseudo-steppe de Chénopodiacées de composition semblable à celle actuelle (si l'on maintient que les pollens fossiles correspondent aux espèces de cette pseudo-steppe, hypothèse qu'il restera impossible de confirmer, nous l'avons vu); celle-ci existe, rappelons-le, avec 170 mm de pluies annuelles dans l'Oued Djedi, et certaines espèces se maintiennent, grâce à l'humidité atmosphérique, jusqu'à l'embouchure du Sénégal. Peut-on par ailleurs supposer qu'*Ephedra alata*, qui ne vit actuellement que de l'eau qu'elle puise en profondeur dans le sol, tolère des précipitations de l'ordre de 200 mm ? ou davantage ? Il est vrai qu'elle croît en un point privilégié du Tadmait, dans une station en permanence humide et peut-être fallait-il ici le souligner de nouveau. Nous renouvelons dans ces conclusions la question précédemment posée et à laquelle répondrait, seule, une étude précise de la biologie de ces espèces. Dans l'impossibilité où nous nous trouvons d'en avoir une meilleure connaissance, ce qui importe ici semble-t-il, c'est d'admettre, puisque quelques faits d'observation nous y autorisent, que ce groupe des Chénopodiacées et des *Ephedra*, dominant dans la microflore pollinique, puisse ne pas traduire des conditions désertiques aussi strictes que celles actuelles dans la région étudiée. Dans l'hypothèse de conditions climatiques un peu moins précaires, ne limitant cependant pas le développement des Chénopodiacées et d'*Ephedra*, on peut envisager que certaines espèces méditerranéennes des plus xérophiles soient déjà capables de se mêler à la flore : en premier lieu *Ziziphus lotus* qui pourrait avoir une extension bien plus large que celle actuelle, mais surtout *Olea cf. europea* et *Pistacia cf. atlantica*. La présence de ces dernières actuellement, dans des ravins privilégiés du piedmont atlasique est en cela très significative. Les espèces les plus sèches du genre *Combretum* s'accommoderaient également de telles conditions.

c) trois espèces : *Pinus* type "*laricio*", *Cedrus*, *Hymenocardia*, s'éloignent plus ou moins considérablement des groupes précédents par leurs exigences hydriques que nous avons précisées; ici intervient, de plus, l'importance du facteur thermique (1) et du rythme saisonnier des précipitations

(1) De cette composante climatique il n'a pratiquement jamais été question dans ce texte, les documents botaniques étant étayés de données relatives à la pluviosité principalement.

qui ne sont pas les mêmes pour *Hymenocardia*, plante soudanaise, que pour les espèces méditerranéennes montagnardes que sont *Pinus* type "*laricio*" et *Cedrus*.

Nous nous trouvons alors en présence d'une évidence : l'existence dans la microflore pollinique de deux groupes principalement, celui des essences méditerranéennes que nous avons envisagées dans l'hypothèse de conditions climatiques minimales nécessaires à leur survie, celui des essences sahariennes inféodées à des milieux particuliers, à propos desquels nous avons également émis l'hypothèse qu'ils puissent, dans certaines limites, être le lieu d'un accroissement d'humidité sans que soit modifié le type de végétation qui leur est adapté. Les limites inférieure ou supérieure d'humidité qui conditionnent la possibilité de croissance de l'un et l'autre groupe restent quelque peu éloignées cependant et du strict point de vue écologique, compte tenu de ce que l'on observe dans la nature actuelle, nous ne pouvons dans l'immédiat que constater l'existence de ces deux groupes, représentés d'ailleurs, ceci est notable, selon des pourcentages extrêmement différents. Il est remarquable qu'entre ces groupes un petit nombre d'espèces ayant une large capacité d'adaptation de part et d'autre des limites précédemment évoquées, établissent un lien : ce sont *Ziziphus lotus*, *Olea cf. europea*, *Pistacia cf. atlantica*.

Le petit nombre d'éléments mésophiles ne fait que souligner un certain caractère hétérogène de la flore pollinique et soulève, pour certains d'entre eux, le problème de l'apport possible d'éléments allochtones.

Nous nous souvenons enfin de l'hypothèse émise précédemment, selon laquelle un groupe d'éléments méditerranéens arborescents (*Pinus cf. halepensis*, *Quercus ilex*, *Quercus coccifera*, *Olea cf. europea*, *Erica arborea*) aurait pu vivre dans des conditions de pluviosité très supérieure à celle qui définit l'ensemble des considérations ci-dessus. Cette hypothèse, dans le contexte de l'ensemble de la microflore pollinique, fait apparaître une incompatibilité radicale avec le groupe dominant des essences sahariennes et ne peut guère, en l'absence de hauts reliefs et donc de zones forestières

d'altitude, permettre d'interpréter le faible pourcentage des pollens d'essences méditerranéennes, que comme l'évidence d'un apport lointain ou d'un remaniement. Dans ce cas nous l'avons vu, *Pistacia cf. atlantica* ne peut leur être associée.

Peut-être ne faut-il pas chercher à raisonner davantage sur cette analyse ? Notre but était de l'aborder dans un sens critique qui a permis de dégager d'apparentes incompatibilités entre différents groupes d'essences représentés par leurs pollens, incompatibilités qui apparaîtront dans le plus grand nombre de nos analyses. Il importait de poser le problème mais non de lui apporter une solution, chaque microflore pollinique analysée étant liée à un contexte géographique, stratigraphique, sédimentologique hors duquel sa composition ne peut être interprétée. Nous avons suffisamment évoqué l'existence, dans la nature actuelle, de microclimats privilégiés, de biotopes localisés permettant à certaines espèces de se développer hors de leur milieu habituel, pour que soit fortement suggérée ici l'idée de formations relictuelles ayant échappé aux vicissitudes du climat. Pour cette même raison, ne sommes-nous pas invités à insister sur le caractère "apparent" de certaines incompatibilités, que seul le contexte général peut, peut-être, confirmer ou infirmer. L'analyse précisément envisagée ici a fait apparaître le problème que nous cherchions à mettre en évidence. L'essai d'interprétation se situera dans le cadre plus large de la stratigraphie étudiée au Fouta Marouga.

Un dernier point important reste à préciser à la suite de cette étude : il est relatif à la façon d'exprimer les résultats des analyses. Il est tentant, au moment de son interprétation, de traduire l'association pollinique que révèle une analyse, en termes de "paysage végétal", de "flore" ou de "végétation". Nous nous efforcerons d'éviter ces termes, que n'autorise pas le caractère hétérogène de la microflore pollinique ainsi mis en évidence, nous essaierons de ne jamais parler que de "flore pollinique" ou de "microflore pollinique", expressions qui peuvent recouvrir toutes incompatibilités, sans laisser présumer de faits botaniques précis, tant que nous n'aurons pas fait, du moins, l'analyse critique de cette microflore.

II - LE NIVEAU CALCAREO-SABLEUX A DIATOMÉES AUQUEL CORRESPOND LE
PRELEVEMENT 9, EFFECTUE DANS LA SERIE STRATIGRAPHIQUE D'AGE
SAOURIEN DE LA TERRASSE D'EL OUATA (QUATEPNAIRE RECENT)
(cf. chapitre)

Beaucoup plus brièvement que l'analyse précédente, sera envisagée celle du sédiment calcaréo-sableux à Diatomées, de la série saourienne d'El Ouata. En effet, en dépit d'une inhabituelle concentration de pollens en une petite quantité de sédiment, la microflore ne représente qu'un nombre très limité d'espèces, ce qui en simplifiera considérablement l'interprétation et principalement ici l'examen critique. Mais auparavant, il faut noter la très forte altération de l'ensemble des pollens, qui sont restés déterminables cependant, parce que suffisamment caractéristiques des familles ou genres représentés, sans qu'il soit toutefois possible d'en faire une étude quantitative, comme nous le justifierons au moment de l'étude du site d'El Ouata.

Telle est la répartition de la microflore pollinique entre deux principales catégories d'éléments :

- éléments à caractère méditerranéen *sensu-stricto* (très probablement partiellement seulement) :

Pinus (plusieurs espèces) : *P. type "laricio"* et espèces indéterminées

- éléments à caractère désertique sub-méditerranéen-méditerranéen :

Cypéracées

Ephedra cf. alata

Graminées

Notons que ces essences sont représentées selon des fréquences à peu près comparables, les Graminées restant cependant les moins abondantes. Comme un élément sûrement allochtone, probablement issu de remaniement, notons également la présence dans cette même microflore d'un pollen d'*Ulmus*.

1 - Les pollens du genre *Pinus*.

Très altérés, les pollens de ce genre ont été souvent rencontrés à l'état de corps ou de ballonnets isolés. L'observation, toutes les fois où elle a été possible, des uns et des autres, a permis de conclure à la présence certaine de plusieurs espèces, certitude fondée sur la grande variabilité de taille des pollens, se situant entre 36-40 et 50 μ et sur la diversité des structures de la couche alvéolaire, observée au niveau de la coupe optique des ballonnets et parfois en L-O analyse (dans un très grand nombre de cas cette structure s'est montrée indéfinissable). Les observations rassemblées révèlent :

- la présence à peu près sûre de pollens (de taille variable) dont la structure de l'exine des ballonnets est du type "*laricio*".

- la présence de pollens considérés comme "indéterminés" spécifiquement selon les catégories établies antérieurement, dont il est certain qu'ils ne représentent aucune des espèces nord-africaines actuelles, mais qui, bien plus, ne semblent correspondre, d'après Mme VAN CAMPO (communication orale, 1969), aux espèces vivant actuellement dans le bassin méditerranéen, ceci en raison de la structure tout à fait particulière de l'exine des ballonnets.

- l'absence enfin de pollens de *Pinus cf. halepensis*, sachant toutefois que l'on ne peut exclure que certains pollens, restés "indéterminables" représentent cette espèce : nous sommes autorisés à exprimer cette réserve, compte tenu des observations faites sur les pollens altérés de l'Oued Farès, auxquelles nous pouvons nous référer (*cf.* chapitre IX).

Ce groupe des pollens de *Pinus*, hétérogène, porte une empreinte nord-africaine montagnarde, au regard de la flore actuelle atlasique, supposant une pluviosité élevée (*Pinus* type "*laricio*") en même temps qu'il pose le problème de l'origine de ces pollens "indéterminés", dont on se demande s'il faut les considérer comme des formes archaïques issues de remaniements, ou comme l'expression de la présence, au Quaternaire, dans les montagnes de

l'Atlas, d'espèces maintenant disparues et localisées hors du bassin méditerranéen. Préciser cette question supposerait une étude exhaustive de la morphologie des pollens d'espèces du genre *Pinus*, réparties dans des territoires peut-être très éloignés du pourtour de la Méditerranée.

Ceci dépasse le cadre de ce travail et, dans l'état actuel de nos recherches sur ce point, nous devons nous limiter à signaler les faits observés.

2 - Les pollens de Cypéracées, *Ephedra cf. alata*, Graminées.

L'étude de la flore de Diatomées a conduit A. EHRLICH (H. ALIMEN et Coll., 1970) à reconnaître dans le sédiment analysé la présence de phytolithaires, concrétions siliceuses issues des cellules de Graminées et de Cypéracées, ce qui précise le caractère *in situ*, du moins contemporain du dépôt du sédiment, des pollens représentant ces familles.

a) Cypéracées. Il ne s'agit pas de *Cyperus conglomeratus*, espèce que nous avons vue psammophile. Les Cypéracées représentées par leurs pollens sont donc incontestablement des espèces témoignant de milieux humides, espèces du genre *Cyperus* probablement. *Cyperus laevigatus*, présent dans les lits d'oueds au Sahara, est exclu en raison de la morphologie de son pollen. Par contre, il n'en est pas de même de *Cyperus rotundus*, également présent au Sahara, mais à caractère cosmopolite. Mais peut-être s'agit-il aussi d'une ou d'autres espèces actuellement nord-africaines.

b) *Ephedra cf. alata*. Nous avons largement évoqué précédemment, la signification de cette espèce qui traduit la proximité de nappes sableuses ou de dunes ainsi que sa possible capacité d'adaptation à des conditions plus humides que celles actuelles.

c) Graminées. La représentation de cette famille, à côté des Cypéracées hygrophiles et des *Ephedra* psammophiles, suggère qu'elles puissent être plus particulièrement attachées à l'un ou l'autre milieu : marécages, bords de lacs ou petites dunes bordières.

Ce groupe des pollens de Cypéracées, *Ephedra cf. alata*, Graminées, ne traduit rien qui soit aberrant; il reste à le situer dans le contexte général, géographique et géologique. Cette fraction de la microflore pollinique cohérente, laisse présumer de conditions certes moins arides que celles actuelles, permettant le maintien, sur l'emplacement de la Sacura, d'étendues lacustres favorables au développement d'une flore de Diatomées, dont les espèces sont relativement halophiles. Tout ce contexte sera envisagé ultérieurement.

Le but de cette analyse critique était de mettre en évidence le caractère incohérent de la microflore globale, réunissant des pollens de *Pinus* type "*laricio*" pour ne citer que le seul type déterminé avec quelque certitude et une flore pollinique de Cypéracées, Graminées, *Ephedra cf. alata*, au sein d'un milieu sub-aride-aride, dont le caractère évaporitique est attesté par la présence des Diatomées halophiles notamment (l'absence de Chénopodiacées liées habituellement aux milieux salés est à remarquer ici). Le caractère allochtone des pollens de *Pinus* (quelle que soit l'espèce d'ailleurs, à moins que *P. cf. halepensis* soit représenté, ce dont nous n'avons aucun indice) apparaît tout à fait évident. Est-ce le fait d'un remaniement ou d'apports par le vent ou par l'eau de la Saoura ? Il ne s'impose pas ici de discuter le problème, mais seulement de reconnaître que nous sommes en présence d'une analyse typiquement incohérente et d'autant plus, que la représentation du genre *Pinus* est équivalente quantitativement, de celle de chacun des autres familles ou genres reconnus, ce qui suppose un apport considérable de ces pollens, quelle qu'en soit l'origine.

III - LE NIVEAU ESSENTIELLEMENT CALCAIRE DENOMME "RHASSOUL", INTERCALE DANS LES FORMATIONS AIDIENNES DU GOLFE DE MAZZER (cf. chapitre XII)

L'analyse ici envisagée est celle correspondant aux prélèvements 5 et 5 bis effectués à la partie inférieure du niveau de "rhassoul". Cette analyse, comme nous l'avons annoncé au début de ce chapitre, va nous permettre de poser deux problèmes :

- celui, précédemment discuté, du caractère plus ou moins homogène d'une microflore pollinique dans laquelle intervient, dans ce cas précis, un groupe important d'éléments à caractère tempéré, non rencontrés jusqu'à présent.

- celui de la dispersion irrégulière de la microflore pollinique dans un sédiment pauvre en pollens et des incidences que cela peut avoir sur la façon même d'entreprendre, à l'avenir, une étude palynologique stratigraphique.

Le tableau III rassemble des données qui doivent nous permettre de mettre en évidence ces deux problèmes. Ce tableau comporte (p. 267) :

- dans la 1ère et la 2ème colonne, les résultats de l'analyse de deux fractions du même prélèvement 5 (effectué en 1962), fractions traitées individuellement, à plusieurs mois d'intervalle pour la raison que nous indiquerons un peu plus loin.

- dans la 3ème colonne, le résultat de l'analyse du prélèvement 5 bis, effectué en 1967, à faible distance, latéralement, du prélèvement 5 de 1962. Notons ici qu'au Sahara, en l'absence d'humidité, l'emplacement d'un prélèvement dans un niveau consolidé, reste longtemps repérable (c'est le cas ici précisément) à partir du moment où les traces d'enlèvement sont suffisamment évidentes. C'est ainsi qu'en 1967 nous avons pu recueillir, en stratigraphie à Mazzer, une série d'échantillons exactement parallèle à celle prélevée en 1962, déplacée seulement de quelques dizaines de cm. latéralement.

1 - Composition de la microflore pollinique dans le prélèvement 5

La nécessité de traiter une seconde fraction du prélèvement 5 a été déterminée par le doute, dans lequel nous nous sommes trouvée en présence d'une série d'analyses dont on pouvait se demander si leurs résultats, manifestant la présence d'un si grand nombre de pollens d'essences à caractère tempéré, n'était pas entaché d'une part d'erreur due à une contamination accidentelle survenue au laboratoire. En fait, l'analyse de la fraction

N° 2 est venue confirmer la présence, dans la microflore, du groupe des pollens précédents, bien que sa composition quantitative et qualitative en soit quelque peu différente, ce qui est normal quand il s'agit de sédiments pauvres. L'évidence de l'intervention, dans la microflore pollinique de cet échantillon de "rhassoul", d'un groupe d'éléments à caractère tempéré nécessitant des conditions d'humidité élevées, est donc acquise : ce groupe représente 37% de la microflore.

Le groupe des éléments à caractère méditerranéen s.s. (27% de la microflore) ne manifeste guère un caractère xérophile très accentué : *Quercus ilex* et *Q. cf. europaea* ne rassemblent que peu de pollens. Le développement de *Celtis* nécessite au moins 450 mm d'eau (Th. MONOD, 1963). Par contre, l'abondance de pollens de *Quercus* qu'il nous est paru possible de rapporter, pour certains, à *Quercus cf. suber* et *Quercus cf. Mirbeckii*, suppose des conditions de pluviosité nettement supérieures (limite inférieure admise pour *Q. suber* et, dans des conditions exceptionnelles semble-t-il : 500 mm d'après R. MAIRE (1925). Nous avons vu quelles sont, d'autre part, les exigences de *Pinus* type "*laricio*". Contrairement aux observations faites dans les analyses précédentes, il n'apparaît pas ici que les essences à localisation actuellement désertique (*Ephedra cf. alata*, Chénopodiacees halophiles), soient représentées par leurs pollens selon un pourcentage dominant. Ils ne comptent que pour une faible part dans le groupe des éléments à caractère dit désertique-sub-méditerranéen-méditerranéen qui ne rassemble pas plus de 24% de l'ensemble des pollens.

Par ailleurs, le seul pollen d'*Acacia raddiana* n'est qu'un mauvais témoin, parce que déjà saharien, du groupe des éléments à caractère subtropical.

L'ensemble de cette microflore pollinique comporte, *a priori*, une nuance plus humide que semi-désertique. Envisagée hors du contexte géologique général et indépendamment du contexte que suggère la microflore révélée par l'analyse d'autres niveaux de cette série stratigraphique qu'il ne nous est pas paru nécessaire d'aborder ici, on pourrait de fait, inter-

	Prélèvement 5 (1962)		Prélèvement 5bis (1967)
	Fraction 1	Fraction 2	
<u>Eléments à caractère tropical-subtropical :</u>			
<i>Acacia raddiana</i>		1	
<u>Eléments à caractère tempéré :</u>			
<i>Pterocarya</i> (Juglandacée)	1	1	
formes bétuloïdes	20	5	
<i>Corylus</i>	2		
<i>Carpinus</i>	5	1	
<i>Platanus orientalis</i>	4		
<i>Aesculus non hippocastanum</i>	4	5	
<i>Taxus</i>	3	4	
<i>Fagus</i>	1		
<i>Fraxinus cf. exelsior</i>	5	2	
<i>cf. Zelkova</i>	2		
<i>Ulmus</i>	7	5	
<i>Alnus</i>	1		
<i>Salix</i>	1		
<u>Eléments à caractère méditerranéen s.s. :</u>			
<i>Pinus</i> type " <i>lariois</i> "	1	2	
<i>Quercus</i> type " <i>ilex</i> "		1	
autres <i>Quercus</i> (<i>Quercus cf. suber</i> (?) et <i>Q. cf. Mirbeckii</i>)	37		1 (<i>cf. Mirbeckii</i>)
<i>Olea cf. europaea</i>	4		
<i>Celtis cf. australis</i>		1	
<i>Erica arborea</i>	1		
<i>Myrtus communis</i>		1	
<u>Eléments à caractère désertique-subméditerranéen-méditerranéen :</u>			
<i>Ephedra cf. alata</i>	3	5	2
Chénopodiacées type " <i>Atriplex</i> "	2	2	
autres Chénopodiacées	3		1
Composées tubuliflores	3	8	
<i>Artemisia</i> (Composée)	3	3	
Graminées	19	10	
Caryophyllacées	1	1	
Ombellifères	1		
Crucifères	1	1	
<i>Rumex</i> (Polygonacée)		1	
<i>Lotus</i> (Papilionacée)			1
Urticacées	1	1	2
Labiées		2	
<i>cf. Scrophulariacées</i>	1		
Plumbaginacées			1
<u>Formes hygrophiles</u>			
<i>Cyperus</i> (non <i>conglomeratus</i>)	3		1
Indéterminées	14	6	
Indéterminables	4	2	
<u>Nombre de pollens comptés :</u>	158		
Microflore pollinique à caractère tempéré (%)	37%		
Microflore pollinique à caractère méditerranéen s.s. (?)	27%		
Microflore pollinique à caractère désertique etc. (%)	24%		

Tableau III. Analyse comparative de la microflore pollinique contenue dans trois échantillons issus de prélèvements très voisins effectués dans le niveau de "rhassoul", intercalé dans la série stratigraphique aïdienne de Mazzer.

prêter cette flore pollinique comme le témoignage d'un épisode relativement humide. Nous n'avons ici pratiquement pas d'arguments palynologiques qui s'opposent à l'éventualité de la présence d'éléments à caractère tempéré en cette région au moment du dépôt du "rhassoul". Nous verrons toutefois que lorsque nous replacerons cette analyse dans l'ensemble de l'étude palynologique des formations aïdiennes de Mazzer, ces considérations seront remises en question.

2 - Remarques quant à l'inégale dispersion de la microflore pollinique dans un sédiment pauvre.

Très surprenants ont été les résultats de quelques-unes des analyses des échantillons prélevés, lors de notre seconde mission, parallèlement à la série précédente. L'échantillon 5 bis, correspondant à l'échantillon 5 met en évidence, dans cet examen critique, l'étonnante différence de composition de la microflore pollinique qu'il a révélée, différence que nous aurions pu faire apparaître aussi bien entre les échantillons 8-8 bis ou 9-9 bis entre autres (cf. chapitre XII). La microflore de l'échantillon 5 bis est réduite à 9 pollens qui n'ont plus alors aucune signification, et qui laisseraient *a priori* penser que le "rhassoul" est quasiment stérile en pollens. La comparaison est suffisamment explicite pour qu'il apparaisse clairement, qu'en régions désertiques actuellement, la grande pauvreté en pollens des formations sédimentaires a pour conséquence une dispersion très inégale de la microflore pollinique dans ces formations. L'échantillon ici traité n'en est qu'une manifestation. Cette observation s'est trouvée confirmée par d'autres exemples non moins significatifs et cela, une fois encore, apparaîtra dans l'analyse-même des sédiments aïdiens de Mazzer.

Il est alors très important d'avoir présent à la pensée, que toute analyse négative ne témoigne pas forcément de la stérilité du sédiment dans lequel a été prélevé l'échantillon étudié. La notion de "variation latérale"(1)

(1) Le problème des variations latérales en palynologie stratigraphique a été envisagé sous un aspect particulier, biologique et paléobiologique par A. PONS, à l'occasion du colloque tenu sur ce thème au C.E.R.C.H.A.R. (Centre d'Etudes et de Recherches des Charbonnages de France) dans le cadre très particulier des recherches de Palynologie appliquée (1961).

quantitative et aussi qualitative, de la microflore pollinique fossile, doit être sous-jacente au souci qu'ont les géologues de faire de la palynologie stratigraphique. Il semble d'venu urgent de ne plus se limiter à prélever, sur le terrain, des séries d'échantillons seulement "verticales", mais d'augmenter les probabilités de résultats positifs et sans doute aussi, variés, en recueillant, pour certains niveaux du moins, deux ou trois échantillons situés dans un même plan horizontal à quelque distance l'un de l'autre. Probablement plusieurs prélèvements ainsi effectués de cette façon, dans tel ou tel niveau particulièrement intéressant pour le géologue, apporteraient-ils de précieux renseignements : tant d'essences intéressantes n'apparaissent parfois dans une analyse, que représentées par un tout petit nombre de pollens, voire même par un seul pollen, sans que pour autant ce pollen unique doive être considéré comme allochtone. L'expérience acquise de l'étude palynologique des sédiments du Sahara nord-occidental, fait profondément ressentir la nécessité de multiplier les chances de découvrir des éléments rares dont l'intérêt et la signification sont souvent notables.

B - EXAMEN CRITIQUE D'ANALYSES DE SEDIMENTS ACTUELS.

Deux analyses seront maintenant considérées, relatives à des sédiments actuels :

- une boue récemment déposée dans le lit de l'oued Saoura près de Béni-Abbès.
- un prélèvement de poussière atmosphérique recueillie non loin de Béni-Abbès également.

I - ANALYSE POLLINIQUE D'UN ECHANTILLON DE BOUE ACTUELLE, PRELEVE DANS LE LIT MINEUR DE LA SAOURA.

A la suite des pluies d'hiver tombées sur les montagnes de l'Atlas principalement, même en l'absence de fortes crues, l'oued Saoura "coule" plus ou moins abondamment, déposant un matériel détritique argilo-sableux qui, en période d'assèchement, couvre le lit de l'oued de larges plaques

de boue sèche, durcie, dont un échantillon a été prélevé juste en aval du radier de Béni-Abbès. Le dépôt étudié a été mis en place au mois de décembre 1968, après une faible crue et le prélèvement effectué au mois de juin suivant par M. ARMONGON. L'analyse d'une très faible quantité de sédiment a livré une flore pollinique particulièrement riche. L'étude systématique d'une seule lame a permis de compter 3220 pollens. Nous avons par ailleurs plus rapidement parcouru plusieurs autres lames, afin d'y rechercher d'éventuels pollens d'essences nouvelles. La composition de la microflore, dans laquelle ont été reconnues deux catégories de pollens, est la suivante :

- les pollens que l'on peut attribuer avec certitude à des espèces présentes dans la région de Béni-Abbès, traduisant ainsi, pour une grande partie du moins, l'environnement végétal actuel.

- ceux que l'on doit considérer comme étrangers, au regard de cet environnement et dont l'origine reste discutable pour beaucoup : pollens venus des régions atlasiques ou pollens issus de remaniements anciens.

- 1 - Microflore pollinique à caractère "local" dont on peut donc présumer qu'elle se trouve *in situ* et reflète l'environnement actuel, mais dans laquelle une proportion non négligeable de pollens très altérés laisse supposer un remaniement de sédiments anciens ou sub-actuels.

Cette fraction de la microflore globale traduit la présence des espèces ou formations suivantes :

Chénopodiacées (1536)

type "Atriplex"	118	(- pseudo-steppe halophile locale
cf. <i>Salsola</i> (non " ")		(: type "Atriplex", cf. <i>Salsola</i>
30 à 40 pores)	135	(<i>Trigonum</i> (?)
<i>Trigonum</i> (?)	35	(- rég graveleux en bordure
cf. <i>Haloxylon</i>	23	(d'oued (cf. <i>Haloxylon</i>)
<i>Cornulaca monacantha</i>	116	(- association psammophile à
Beta (?)	60	(<i>Cornulaca monacantha</i>
<i>Ephedra alata</i> et <i>Ephedra</i> cf. <i>alata</i> ..	194	(psammophiles de lits d'oueds
<i>Calligonum</i> cf. <i>comosum</i>	10	(ou de bordure d'erg; nombreux
<i>Cyperus conglomeratus</i>	2	(pollens d' <i>Ephedra</i> altérés.

Graminées	82	
Composées tubuliflores	92	(nombreux petits pollens sembla- (bles aux fossiles.
<i>Artemisia cf. judaica</i>	2	
<i>Paronychia arabica</i>]	237	
<i>Sclerocephalus arabicus</i>]	Caryophyllacées	3
<i>Gymnocarpus decander</i>]		4
<i>Tamarix</i>	129	(
<i>Zygophyllum</i>	2	(groupement d'oued fonctionnel
<i>Typha angustifolia</i>	10	(temporairement du moins.

2 - Microflore pollinique sûrement "allochtone", composée de pollens :

- actuels, venus de l'Atlas, d'origine moins lointaine pour certains.
- ou remaniés à partir de sédiments anciens.

Pinus (7)

<i>P. halepensis</i> + <i>P. cf. halepensis</i>	2	(
"Indéterminables"	3	{ ces pollens sont donc en majorité remaniés
<i>P. non "halepensis" ni type "laricio"</i>	2	{
<i>Cedrus atlantica</i>	14	(pollens parfaitement conservés, très certainement actuels,
		(flottés par l'eau du Guir dont (la source est à 80 km de la (cédraie de l'Ari Ayachi, ou (transportés par le vent depuis le (Haut Atlas ou l'Atlas saharien.
<i>Quercus</i> type " <i>ilex</i> ".....	23	(certains pollens sûrement actuels,
<i>Quercus cf. Mirbeckii</i>	7	(d'autres probablement fossiles,
<i>Quercus sp.</i>	4	(remaniés.
<i>Pistacia</i> (22µ et 30 µ).....	2	(espèces indéterminées, pollen de (30 µ très altéré, (actuels ou remaniés ?
<i>Myrtus</i> (16 µ)	2	(localisation actuelle de (<i>M. communis</i> la moins éloignée des (sources du Guir : Maroc central, (remaniement probable.

<i>cf. Vitis</i>	1	(pollen altéré : apport ou remaniement ?
<i>Rhus</i> (non <i>oxyacantha</i>)	1	
<i>Olea europea</i> et <i>olea cf. europea</i> ...	23	(certains pollens identiques aux fossiles : d'autres issus d'apports (plus ou moins proches : oasis de Béni-Abbès notamment.
Ombellifères	62	(les pollens ne sont pas ceux des espèces actuelles de la région, (donc sont allochtones.
<i>Artemisia</i>	546	(395 : <i>A. herba-alba</i> (?) et autres (77 : pollens altérés sûrement remaniés (74 : pollens très altérés à mesocolpium concaves, identiques aux fossiles; (remaniement quasi-certain.
<i>Carya</i>	1	(pollen extrêmement altéré : remaniement quasi-certain. (Genre absent d'Europe, cultivé en (Afrique du Nord (<i>Carya pecan</i>)
<i>Alnus</i> (très petit pollen altéré)	1	(localisé en Numidie et dans le (Rif; remaniement certain.
<i>Argania</i>	1	(apport possible par le vent depuis (le Sud-marocain ou remaniement; (pollen non altéré.
<i>Combretum</i>	1	(apport par le vent ? Les espèces
<i>cf. Combretum</i>	2	(les plus proches se trouvent à (1500 km ; hypothèse à discuter (mais remaniement probable.
<i>Casuarina</i>	15	(pollens issus des jardins de
<i>Eucalyptus</i>	27	(Béni-Abbès ou des oasis de la... (Saoura, où ces espèces sont (plantées.

Au terme de cette analyse correspondant à l'examen d'une seule lame, signalons quelques autres espèces représentées par leurs pollens dans d'autres lames rapidement observées :

<i>Hyoscyamus</i> sp	1	(genres présents dans la flore
cf. <i>Ammodaucus</i>	1	(de la région, mais espèces indé-
<i>Helianthemum</i> sp	4	(terminées sauf pour
<i>Carduncellus Duvauxii</i>	1	(<i>Carduncellus</i> .)
<i>Pinus halepensis</i>	X	
<i>Eryngium</i> (non <i>ilicifolium</i>)	2	remaniement ? ou apport ?
Graminée type " <i>Lygeum spartum</i> "	1	(le plus vraisemblable par
(steppe à sparte des Hauts- Plateaux jusqu'au Nord du Sanara).		(l'oued Zousfana
<i>Cassia</i>	3	(apport méridional par le vent ? (pollens altérés plus probablement (remaniés; problème comparable à (celui posé par <i>Combretum</i> .)
<i>Myrica</i> sp.	1	(remaniement certain : genre présent (àux Açores, aux Canaries et à (Madère mais absent, actuellement, (d'Afrique du Nord.

3 - Réflexions que suggère la composition de la microflore pollinique déterminée.

Nous aurions souhaité, à la suite de cette analyse, être en mesure de faire la part, numériquement évaluée, des éléments de la microflore reflétant précisément l'environnement actuel et celle des éléments dont la présence est le témoignage d'apports plus ou moins lointains, ou de remaniements. Un fait incontestable est la représentation des espèces halophiles inféodées au milieu même où a été prélevé le sédiment étudié (Chénopodiacees : 50% de la microflore, accompagnées en faible proportion de *Tamarix*, *Zygophyllum* et de *Typha angustifolia*, hygrophile). En réalité, il s'avère que la fraction de la microflore composée de pollens d'espèces sûrement présentes dans la flore actuelle, comporte une part certainement non négligeable, de pollens très altérés de ces espèces, que l'on ne peut considérer que comme

de probables contaminations du sédiment actuel, à la suite du remaniement de sédiments anciens. Ceci ne nous étonne en rien quand on sait la part que prennent les pollens d'espèces actuellement sahariennes dans les sédiments pliocènes ou quaternaires (les analyses précédentes nous l'ont montré). Or il est évident que le cours de la Haute Saoura aussi bien que celui du Guir à partir du piedmont atlasique du moins et de la Zousfana, s'inscrivent au sein des formations néogènes ou quaternaires et que ce sont ces formations que viennent saper les eaux des oueds lors des plus grandes crues. Si, pour cette raison, il est difficile de dénombrer, parmi les éléments à caractère désertique, ceux qui correspondent à une flore passée et ceux qui reflètent la pluie pollinique actuelle, le problème se pose de façon identique quant à la microflore composée de pollens représentant des éléments sûrement allochtones parce qu'absents de l'environnement présent.

En effet, s'il est possible d'affirmer, grâce à leur exceptionnel état de conservation, que les pollens de *Cedrus atlantica* viennent des actuelles cédraies de l'Atlas, de celles au moins, si bien développées à quelques 80 km des sources du Guir (à 2300 m d'altitude sur l'Ari Ayachi), nous ne pouvons avec la même certitude expliquer la présence dans la microflore de pollens moins bien conservés de *Pinus halepensis* ou de *Quercus ilex* par exemple, dont les peuplements actuels ne se trouvent d'ailleurs, pas plus que la cédraie, au voisinage immédiat de la haute vallée du Guir. Dans la mesure, donc, où pour certains éléments tels que *Carya*, *Myrica* ou certains *Pinus* dont on considère les pollens comme étrangers à la flore pollinique atlasique actuelle, il n'est d'autre origine possible qu'un remaniement de sédiments anciens, nous ne pouvons pas exclure l'éventualité qu'une partie des essences nord-sahariennes ou nord-africaines, dont les pollens sont par ailleurs quelque peu altérés, soient également remaniés. La présence de pollens d'autres essences comme *Myrtus*, *Vitis* et plus encore *Alnus* peut être un argument en faveur d'un remaniement, car elles sont actuellement assez éloignées (ou très éloignées : *Alnus*) des régions parcourues par les oueds qui alimentent la Saoura. Plus complexe encore est le cas des pollens de *Combretum*, *Cassia*, espèces actuellement situées très nettement au Sud de la région de Béni-Abbès.

Il n'est plus alors de transport possible par l'eau. Faut-il envisager un apport par des courants atmosphériques méridionaux et le dépôt de ces pollens dans les eaux de la Saoura ? Il semble qu'habituellement la montée des courants soudanais vers le tropique, dès après le mois de janvier, ne dépasse pas le 25ème parallèle (Zemmour In Salah). La région de Béni-Abbès n'est donc alors pas atteinte. On ne peut exclure naturellement l'éventualité d'apports de pollens liés à la "mousson méditerranéenne" évoquée dans le chapitre I et qui se manifeste, rappelons-le, comme une extension à caractère assez exceptionnel semble-t-il, de cette mousson soudanaise jusqu'à la bordure nord du Sahara où elle provoque des précipitations orageuses d'été. Ne faut-il pas plus probablement supposer que ces pollens d'origine subtropicale présents dans la boue actuelle étudiée sont issus de sédiments anciens remaniés au même titre que *Carya*, *Myrica*, *Alnus* ? Un peu différent est le problème posé par *Argania* : la localisation de cette dernière essence est beaucoup moins lointaine et les courants d'air atlantique atteignent le Sahara pendant l'hiver, ceci n'exclut pas l'éventualité d'une origine plus ancienne du pollen.

Il apparaît alors, que cette microflore pollinique contenue dans la boue récemment déposée par la Saoura, est composée de façon aussi complexe que celle des sédiments anciens.

Le problème particulier du transport des pollens par les eaux a déjà été explicité à l'occasion de diverses recherches : celles notamment de J. MULLER (1959), A. HOROWITZ (1969) et de M. ROSSIGNOL (1970). Des travaux en cours cherchent à le préciser (R. BONNEFILLE, J. MALEY).

Il devient évident qu'il n'est pas aisé de se livrer à l'analyse pollinique sans courir le risque d'une très grande incertitude quant aux faits qu'elle révèle et aux interprétations que l'on peut en donner. Il faut des exemples tels que celui que nous venons de présenter, pour percevoir toute la nécessité d'aborder avec grande prudence et esprit critique les faits que révèle la palynologie, dans un contexte aussi complexe que celui du déroulement, au Quaternaire, des phénomènes géologiques consécutifs à l'alternance

des phases pluviales et des phases arides, des périodes d'érosion et des périodes de sédimentation.

Les faits apportés ici ne manquent pas d'être quelque peu déconcertants. Il est vrai que nous nous situons sur le grand axe fluvial qu'est la Saoura qui a été le lieu, au Quaternaire, de manifestations particulièrement importantes de la succession de cycles "érosion-sédimentation". Dans la mesure où ce type d'analyse devait nous éclairer encore sur la complexité des études palynologiques dans ces régions actuellement arides, il était opportun que les difficultés et la nécessité de prudence qui en résultent soient présents à notre esprit et en même temps explicités.

II - ANALYSE POLLINIQUE D'UN PRELEVEMENT DE POUSSIERE ATMOSPHERIQUE PIEGEE A PROXIMITE DE BENI-ABBES.

C'est seulement à titre indicatif que nous voulons présenter ici cette analyse qui ne constitue qu'un bref aperçu de recherches poursuivies dans le cadre du Laboratoire de Palynologie de la Faculté des Sciences de Montpellier (1). C'est à P. COUR en effet, alors à Béni-Abbès, que revient l'initiative, en 1968, d'une étude systématique, non seulement palynologique d'ailleurs, de prélèvements de poussière atmosphérique, grâce à un dispositif, conçu par lui-même et mis en place dans une "daya" de la Hamada du Guir, non loin de Béni-Abbès. Ce dispositif comporte des pièges (gazes imprégnées de glycérine tendues dans des cadres) fixés au sommet d'une girouette dominant de 12 m la surface de la hamada et déposés chaque semaine. Les premiers de ces pièges nous ont été confiés par P. COUR pour en analyser le contenu pollinique. P. COUR lui-même, rejoignant le Laboratoire de Palynologie de Montpellier, s'est ensuite engagé dans cette étude : c'est pourquoi nous nous devons de ne pas nous attarder sur des recherches auxquelles nous n'avons pris qu'une

(1) Le problème du transport des pollens par les courants atmosphériques a fait l'objet de recherches systématiques, parmi lesquelles celles déjà citées de A. HOROWITZ (1969) relatives à la fois aux apports de pollens étrangers par l'eau et par le vent.

part infime dès leur début. Nous n'aurions d'ailleurs nous-même pas fait état de notre si petite participation à ce travail, s'il ne nous était apparu indispensable de considérer, au même titre que l'analyse de la boue, celle de l'un de ces pièges, comme un élément venant étayer les réflexions critiques préliminaires à l'étude des sédiments anciens. La seule analyse faite par nous-même de l'un de ces premiers pièges ne pouvait, en raison de l'intérêt et de l'importance de ses résultats, être passée sous silence. Elle correspond à une fraction du sédiment recueilli entre le 27 mai et le 3 juin 1968. Nous préciserons avant d'en donner les résultats, qu'aucune tentative de détermination spécifique très poussée n'a été faite et qu'ainsi les données rapportées ici ne représentent qu'une approche des problèmes que semblent révéler les analyses plus systématiques et détaillées actuellement poursuivies à Montpellier.

De la même façon que précédemment nous distinguerons deux catégories de pollens rassemblés dans la microflore analysée (1000 pollens dont 40 "indéterminables") :

- 1 - Microflore pollinique à caractère "local", dont on peut présumer qu'elle se trouve *in situ*, reflétant l'environnement actuel, bien qu'une certaine quantité de pollens altérés laisse supposer un remaniement de sédiments anciens (aïdiens probablement) plaqués localement à la surface de la Hamada.

Les familles, genres et espèces suivants ont été reconnus :

```

Graminées ..... 110 { 7 : < 20µ
                        { 63 : 25-30 µ
                        { 24 : 35-40 µ
                        { 16 : altérés, taille indéfinissable.

Chénopodiacées ..... 102 { 11 : type "Atriplex"
                             { 68 : cf. Salsola (30-40 pores)
                             {      non "S. vermiculata"
                             { 1 : cf. Haloxylon
                             { 1 : Anabasis
                             { 21 : Cornulaca monacantha (psammo-
                             {      phile)

```


Crucifères	90	
<i>Ephedra alata</i> et <i>E. cf. alata</i>	83	
<i>Cyperus conglomeratus</i>	1	
<i>Plantago</i>	62	(pollens de 18 à 35 μ , plusieurs espèces vraisemblablement.
Composées liguliflores	43	(24 : pollens rapprochés de ceux du genre <i>Ormenis</i> (6 : pollens rapprochés de ceux du genre <i>Ifloga</i> (3 : ? (10 : très usés, remaniés : <i>Launea cf. ?</i>
Composées tubuliflores	2	
<i>Paronychia arabica</i>) <i>Sclerocephalus arabicus</i>) (Caryophyllacées)	20 2	
<i>Rumex</i> (Polygonacée)	15	
<i>Tamarix</i>	5	
<i>Fagonia</i> (Zygophyllacée)	2	
<i>Ziziphus lotus</i> (Rhamnacée)	3	(devrait être, sans doute, plutôt parmi les allochtones.
<i>Lotus</i> (Papilionacée)	2	
<i>cf. Astragalus</i> (Papilionacée)	2	
Papilionacée : pollen "Indéterminé"	1	
Labiées	2	
<i>Moltkia ciliata</i> (Boraginacée psammophile)	3	
<i>Echium</i> (Boraginacées)	2	
Boraginacées : pollen "Indéterminé")	2	

2 - Microflore pollinique sûrement "allochtone", composée de pollens actuels, apportés par le vent depuis le piedmont atlasique et les montagnes de l'Atlas, ou remaniés à partir des sédiments de surface soumis à l'action éolienne.

<i>Pinus</i> (non <i>halepensis</i>)	1	(très altéré, sûrement remanié
<i>Cedrus</i> (esp. indéterminable)	2	(très altérés, sûrement remaniés
<i>Olea</i> type 1	119	(<i>Olea cf. europea</i>
type 2	145	(structure du réseau grossière, grandes mailles, grosses bacula. (La distinction très nette entre (les deux types de pollens marque (leur origine différente : régions (septentrionales ou oasis proches, (Béni-Abbès notamment.

<i>Phillyrea</i> (Oléacée)	8	
cf. <i>Jasminum</i> (Oléacée)	1	
Oléacées : <i>Fraxinus</i> ?	6	
<i>Quercus</i> type " <i>ilex</i> "	41	(pollens en très bon état et pollens (altérés; apport par le vent certain (et remaniement probable en partie.
<i>Pistacia</i>	2	(
<i>Erica arborea</i>	2	(origine indéterminable :
<i>Myrtus communis</i>	2	(pollens actuels ou remaniés.
<i>Vitis</i>	2	(
<i>Artemisia</i>	11	(7 pollens sûrement fossiles
Graminée type " <i>Lygeum spartum</i> " cf. p. 274	1	(pollen de 70 μ , cf. p.
Ombellifères	32	(les pollens n'appartiennent pas (aux espèces sahariennes actuelles, (certains sont très altérés; origine (double probablement : apport par le (vent et remaniement.
<i>Juglans</i>	1	(pollen sûrement fossile, bien que (<i>Juglans</i> soit cultivé en Afrique du (Nord.
<i>Carpinus</i>	1	(absent d'Afrique du Nord, pollen (sûrement fossile, remanié.
<i>Argania</i>	3	(apport possible par le vent depuis (le Sud-marocain : pollens en très (bon état.
<i>Combretum</i> cf. <i>micranthum</i>	1	(pollen non altéré (P = 16 μ , E = 14 μ (remaniement cependant probable : (problème discuté dans l'analyse (précédente.
<i>Cassia</i>	2	(pollens très altérés, probablement (fossiles, remaniés.

A la suite de cette analyse, il faut noter qu'il est probable que le transport par le vent soit davantage préjudiciable aux pollens que le transport par flottation dans l'eau : les pollens, dans l'atmosphère doivent être exposés aux chocs venus de particules minérales, ces chocs étant certainement amortis en milieu liquide.

3 - Réflexions que suggère la composition de la microflore pollinique déterminée.

La microflore considérée comme "locale" rassemble les pollens de quelques plantes dont l'association, malgré les imprécisions de détermination, pourrait bien être mise en parallèle avec celle qui, pour Ph. GUINET (1954-1958) et pour P. QUEZEL (1965) caractérise précisément l'association des "dayas". Dans cette microflore nous relevons la présence de 10% de pollens de Crucifères, de pollens de Composées que nous avons rapprochés de ceux des genres *Ormenis*, *Ifloga*, *Launea*, de pollens du genre *Plantago* en quantité notable, de pollens de *Rumex*, *Lotus* et ceci nous rappelle que Ph. GUINET (1958) caractérise le peuplement végétal des "dayas", à un certain stade de son développement, par *Zilla macroptera* (Crucifère) tandis que pour P. QUEZEL (1965a), l'association des "dayas" comporte comme caractéristiques *Plantago ciliata* (pollen dont la taille varie au moins entre 25 et 35 μ) et *Ormenis lonadioïdes*. Les relevés que cite Ph. GUINET comptent, outre *Zilla macroptera*, *Ormenis lonadioïdes* également ainsi que *Ifloga spicata*, *Launea arborescens*, *Lotus jolyi*, *Rumex vesicarius*. Nous n'avons aucune certitude que ces dernières espèces soient précisément celles représentées par les pollens que nous avons déterminés : il y a seulement une convergence possible au niveau des genres, ce qui nous a suggéré cette remarque.

Par ailleurs cette microflore reflète la présence de nappes sableuses peuplées de Graminées, *Ephedra alata*, *Moltkia ciliata*, *Cyperus conglomeratus*, *Cornulaca monacantha*. Les pollens de Chénopodiacées plus ou moins halophiles (type "*Atriplex*", cf. *Salsola*) ainsi que ceux de *Tamarix* sont probablement entraînés par le vent depuis le lit de la Saoura qui coule non loin du lieu de prélèvement, au pied de la falaise hamadienne.

Il n'est guère de commentaire autre possible, en présence de cette microflore qui, comptant de temps à autre des pollens très altérés est sûrement, comme l'était la microflore de la boue de la Saoura, marquée de contaminations provenant des sédiments de surface remaniés actuellement par le vent.

Plus intéressante est la microflore dite "allochtone", qui finalement pose les mêmes problèmes que dans l'analyse précédente. Nous retrouvons d'ailleurs entre les deux fractions "allochtones" issues respectivement de la boue et de la poussière atmosphérique quelques composantes communes : *Pinus* (non *halepensis*), *Quercus ilex*, *Olea p.p.*, *Pistacia*, *Myrtus*, *Vitis*, des Umbellifères, *Argania*, ainsi que les pollens intéressants que sont ceux de *Combretum* (*C. cf. micranthum*, déterminé notamment) et *Cassia*. Dans l'une et l'autre analyse apparaissent également des pollens d'essences disparues d'Afrique du Nord : *Myrica*, *Carpinus*, ou d'autres pollens dont on peut dire qu'ils sont sûrement fossiles : *Alnus*, *Juglans*, *Carya*, bien que ces espèces soient présentes dans la flore actuelle nord-africaine, géographiquement éloignées d'ailleurs. *Juniperus oxycedrus* ainsi que quelques Oléacées (*Phyllirea*, *Fraxinus* ?) ne figuraient pas dans l'analyse de la boue.

On ne peut qu'être frappé par la très faible représentation du genre *Artemisia* parmi les pollens atmosphériques en comparaison de leur abondance dans la boue de l'oued. C'est peut-être l'expression d'un apport lointain par l'eau du Guir, puis de la Saoura, de pollens d'*Artemisia herba-alba* participant à la steppe déjà méditerranéenne des plaines du Haut Guir. Mais alors nous ne pouvons séparer *Artemisia herba-alba* de *Stipa tenacissima* (l'alfa) et il est certain qu'aucun pollen de *Stipa* (mesurant 50-55 μ) n'a été rencontré dans ces analyses. Seul un pollen de Graminée d'un type particulier (présent à la fois dans la boue et dans la poussière atmosphérique) a été rapproché du pollen de *Lygeum spartum* (le sparte) qui participe à la steppe méditerranéenne à alfa et armoise. Mais ce n'est là qu'une hypothèse pour expliquer la présence d'une si grande quantité de pollens d'*Artemisia* dans la boue de l'oued. Ces pollens très anémophiles devraient être retrouvés dans l'atmosphère : ils en sont quasiment absents puisque 7 d'entre eux sont considérés comme fossiles.

Cet ensemble de pollens allochtones incontestablement fossiles pour certains, très probablement actuels pour d'autres portés par les courants aériens méditerranéens ou atlantiques, méridionaux (?), confirme les conclusions qui semblaient se dégager de l'analyse précédente. Les agents naturels que sont le vent, l'eau, ne sont pas seulement vecteurs d'une microflore pollinique dispersée dans l'atmosphère dans le temps présent : ce sont également des facteurs d'érosion qui remettent en suspension des éléments anciens ou subactuels, contribuant à rendre complexe et délicate l'interprétation de la microflore qu'ils rassemblent. Pour cette raison d'ailleurs, nous n'avons pas davantage accordé d'importance à la saison au cours de laquelle a été effectué le prélèvement atmosphérique, si ce n'est en situant la date. Il eut fallu comparer entre elles plusieurs microflore piégées à diverses époques de l'année, pour qu'il devienne intéressant de faire intervenir le facteur "saison".

C - CONCLUSION

Ce chapitre, destiné à réunir quelques réflexions "critiques" suggérées par l'examen de la microflore pollinique particulièrement significative de trois analyses de sédiments quaternaires, met en évidence le problème essentiel qui se posera à chaque étape de l'étude palynologique stratigraphique : celui de la juxtaposition, dans une même microflore, de pollens, parfois uniques, d'essences vivant actuellement dans des conditions très diverses, ou de groupes de pollens traduisant autant d'associations, cohérentes en soi, dont nous avons essayé de préciser les conditions écologiques dans lesquelles il est possible d'envisager leur développement. Compte tenu du mode de vie de ces essences ou de ces associations dans la nature actuelle, des incompatibilités se sont révélées entre elles, plus ou moins flagrantes ou seulement "apparentes" et si, dans le premier cas le problème trouve une explication dans l'intervention absolument évidente d'éléments allochtones, il ne peut par contre dans le second cas se résoudre hors du contexte géogra-

phique et géologique général dans lequel s'est située la mise en place du sédiment étudié. L'essai d'interprétation de la composition de la microflore pollinique ne peut donc qu'être propre à chacune des analyses.

Il semble très important de ne pas négliger les possibilités d'adaptation dont la nature donne tant de preuves, permettant si souvent à quelques groupes de plantes de survivre, grâce à un milieu peut-être très local, mais particulièrement privilégié, à des conditions qui leur sont *a priori* peu favorables, voire même hostiles. Ceci par contre, ne doit pas exclure la réalité incontestable des phénomènes de transport par l'eau et les courants atmosphériques, de pollens d'origine lointaine, ou celle, non moins certaine, de remaniements de sédiments mis en place antérieurement. Les analyses de sédiments actuels : boue de la Saoura, poussière atmosphérique, mettent en lumière, de façon quelque peu troublante, l'intervention de ces facteurs de contamination. Là encore cependant, doit intervenir un certain contexte local : il est évident que l'oued Saoura, à la suite du Guir et de la Zousfana, est un lieu privilégié de transport des pollens atlasiques, mais certaines de nos analyses sont relatives à des formations qui n'ont pas été mises en place sous la dépendance de la Saoura, échappant alors à l'influence fluviatile septentrionale. De façon un peu comparable, la surface dénudée de la Hamada du Guir n'offre aucun obstacle à la circulation des courants atmosphériques porteurs de pollens également atlasiques. Pour autant, nous ne pouvons exclure qu'en des lieux géographiquement moins exposés à recevoir des apports lointains, la pluie pollinique locale en porte encore l'empreinte. Quant au problème du remaniement, par l'eau peut-être particulièrement, il est naturellement afférent aux processus même d'érosion et de sédimentation qui ont conditionné l'édification des séries stratigraphiques dès le début du Quaternaire au moins.

Ce sont là bien des raisons d'aborder l'étude palynologique stratigraphique qui va suivre avec toute la prudence dont nous avons d'ailleurs pressenti et exprimé la nécessité au long de ce chapitre. Nous envisagerons cette étude en toute conscience de la complexité qu'elle revêt et des diffi-

cultés auxquelles nous allons nous heurter pour tenter de comprendre des faits, en présence desquels nous ne pourrions peut-être que proposer diverses hypothèses. Le souci des réflexions suscitées par l'étude des sédiments actuels doit rester sous-jacent à nos interprétations sans cependant jeter le doute sur l'intérêt des recherches palynologiques. Toute méthode de recherche a ses limites : celles de la palynologie, dans le cadre particulier de cette région du Sahara nord-occidental, sont dès à présent très vivement ressenties.

Rappelons enfin qu'un problème important a été soulevé dans ce chapitre, relatif aux "variations latérales" quantitatives et qualitatives, mises en évidence quant à la dispersion de la microflore pollinique au sein d'un sédiment, même homogène, problème dont il devra être tenu compte dans nos recherches futures.

